Phys.
o.
113a.

Lehrbuch

der

Kontaktelektricität

(Galvanismus)

mit

731 Erklärungen, 238 in den Text gedruckten Figuren,
einem Formelnverzeichnis und einem alphabetischen Sach- und Autorenregister

nebst einer

Sammlung gelöster und ungelöster analoger Aufgaben.

Zum

Gebrauch an niederen und höheren Schulen, sowie zum
Selbststudium

bearbeitet

nach System Kleyer

von

Dr. Oscar May,
Elektrotechniker in Frankfurt a. M.

Stuttgart.
Verlag von Julius Maier.
1887.

Druck von Carl Hammer in Stuttgart.

Vorwort.

Das vorliegende Lehrbuch der Kontaktelektricität bildet den dritten abgeschlossenen Band von Kleyers Encyklopädie. Dasselbe umfasst die Gesetze des elektrischen Stroms und die Wirkungen des Stroms innerhalb des Stromkreises. Um dem Anfänger das Studium möglichst zu erleichtern, habe ich den Stoff unter Voraussetzung nur geringer Vorkenntnisse behandelt und überall da, wo andere Gebiete der Naturlehre berührt werden müssen, das zum Verständnis des hier behandelten Gegenstands Erforderliche in „Erklärungen“ erörtert. Bei der Gestaltung der Figuren war ich bestrebt, der Anschaulichkeit möglichst Rechnung zu tragen, damit der Zweck derselben: Erleichterung und Förderung des Verständnisses für den Lernenden, thunlichst erreicht werde.

Frankfurt a. M., 31. Mai 1887.

Dr. Oscar May.

Inhaltsverzeichnis.

I. Teil.

(Populärer Teil.)

Seite

1). Begriff der Kontaktelektricität im allgemeinen 1
2). Erregung der Elektricität durch Berührung 4
A). Erregung der Elektricität durch Berührung im allgemeinen 4
B). Erregung der Elektricität durch gegenseitige Berührung von Metallen . . . 4
a). Voltas Fundamentalversuch 4
b). Spannungsreihe und elektromotorische Kraft 10
C). Erregung der Elektricität bei der Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten 15
D). Erregung der Elektricität bei der gegenseitigen Berührung verschiedenartiger Flüssigkeiten . 17
E). Erregung der Elektricität durch Berührung von Metallen mit Gasen 18
F). Erregung der Elektricität durch Berührung schlechter mit guten Leitern und schlechter Leiter unter sich . 19
3). Der elektrische Strom . 20
A). Die Voltasche Säule . 20
B). Die trockenen Säulen . 24
C). Der elektrische Vorgang in einer geschlossenen Säule 29
4). Die Rheomotoren . 31
A). Die Rheomotoren im allgemeinen 31
B). Die galvanischen Elemente mit einer Flüssigkeit 33
a). Die einfachen Voltaschen Elemente 33
b). Die Elemente mit einer Flüssigkeit und mit präparierten Elektroden . 40
c). Die Kohle-Elemente mit einer Flüssigkeit 44
d). Die Superoxyd-Elemente mit einer Flüssigkeit 47
C). Die galvanischen Elemente mit zwei Flüssigkeiten 51
D). Die Gas-Elemente . 69
E). Die Nebenbestandteile und speziellen Vorrichtungen an galvanischen Elementen und Ketten . 71
a). Leitungsdrähte und Leitungsstreifen 71
b). Klemmschrauben und Quecksilbernäpfe 72
c). Kontaktvorrichtungen an Elektroden 74
d). Diaphragmen . 78
e). Tauchbatterien . 79
f). Einrichtungen zum Füllen und Entleeren der Elemente 81
g). Einrichtungen zum Bewegen der Flüssigkeiten oder der Elektroden der Elemente . 81
h). Transportable Rheomotoren 81
i). Die verschiedenen Arten der Verbindung von Elementen zu Batterien und die Apparate zur Veränderung der Elementverbindungen 82
k). Die Stromschlüssel und Stromunterbrecher 84
l). Die Stromwender . 86
5). Die Apparate zur Messung der Stromstärke 94
A). Die Rheometer im allgemeinen 94
B). Die Voltameter . 95
a). Die Voltameter im allgemeinen 95
b). Die Wasservoltameter . 96
c). Die Silber- und Kupfervoltameter 101
C). Die Galvanometer . 104

Seite
6). Die Apparate zum Nachweis elektrischer Ströme 108
7). Bestimmung der Richtung des elektrischen Stroms 110
8). Experimentelle Beweise der Stromgesetze 112
9). Der Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen) 117
A). Leiter und Isolatoren des elektrischen Stroms 117
B). Der Leitungswiderstand im allgemeinen 119
C). Rheostate und Widerstandsetalons 121
D). Der Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen) der Metalle 129
E). Der Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen) der Legierungen 131
F). Der Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen) des Kohlenstoffs und des Selens 132
G). Der Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen) der Flüssigkeiten 133
H). Der Widerstand des Uebergangs 134
10). Die galvanische Polarisation . 135
A). Die Polarisation im allgemeinen (sekundäre Ströme) 135
B). Die Polarisation der Rheomotoren (konstante und inkonstante Elemente) . . 143
11). Einfluss der Beschaffenheit der Metalloberflächen auf die elektromotorische Kraft der Elemente . 145
A). Passivität . 145
B). Erregung elektrischer Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen zweier Elektroden in dieselbe Flüssigkeit 150
C). Erregung elektrischer Ströme durch Erhitzung einer von zwei gleichartigen Elektroden . 150
D). Erregung elektrischer Ströme durch mechanische Einwirkungen auf eine von zwei Elektroden aus gleichem Metall 151
E). Erregung elektrischer Ströme durch Bestrahlung einer von zwei Elektroden aus gleichem Metall (photochemische Ströme) 151
12). Die Wirkungen des elektrischen Stroms im allgemeinen 153
13). Die Wärmewirkungen des elektrischen Stroms 153
14). Die Lichtwirkungen des elektrischen Stroms 157
A). Der Oeffnungsfunken . 157
B). Der Schliessungsfunken . 158
C). Die Entladungen elektrischer Ströme zwischen flüssigen und metallischen Leitern 159
D). Der galvanische Lichtbogen 160
15). Die chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms (Elektrolyse) 168
A). Die chemischen Grundbegriffe, welche zum Verständnis der Elektrolyse erforderlich sind . 168
B). Die Elektrolyse im allgemeinen 173
C). Die galvanische Wasserzersetzung 174
a). Der Vorgang bei der galvanischen Wasserzersetzung 174
b). Die galvanischen Wasserzersetzungsapparate 175
c). Die Volumverhältnisse des elektrolytisch abgeschiedenen Sauerstoffs und Wasserstoffs . 179
D). Elektrolyse geschmolzener Chlormetalle 182
E). Elektrolyse der Alkalien und Erden 185
F). Elektrolyse von in Wasser gelösten Salzen 187
G). Die elektrolytischen Gesetze 194
H). Die Wanderung der Jonen . 197
I). Die mechanische Ueberführung von Elektrolyten durch den elektrischen Strom (elektrische Endosmose) . 198
K). Die Theorie der Elektrolyse 199
16). Hypothesen über das Wesen der Kontaktelektricität 203

II. Teil.

(Mathematischer Teil.)

1). Die elektromotorische Kraft . 209
2). Die Messung der Stromstärke . 214
A). Messung der Stromstärke mittels des Voltameters (Masseinheiten der Stromstärke . 214

Seite

B). Messung der Stromstärke mittels der Tangentenbussole 231
3). Das Ohmsche Gesetz . 238
4). Die Gesetze des verzweigten Stromkreises 252
A). Die Stromverzweigung im allgemeinen 252
B). Anwendung der Kirchhoffschen Sätze auf verschiedene Arten von Stromverzweigungen . 257
5). Die Messung des Leitungswiderstands 272
A). Die Gesetze des Leitungswiderstands 272
B). Die Masseinheiten des Leitungswiderstands 274
C). Die Messung des Leitungswiderstands fester Körper 277
D). Die Messung des Leitungswiderstands der Flüssigkeiten 284
E). Die Messung des Widerstands der Rheomotoren 286
6). Die Messung der elektromotorischen Kraft 290
A). Die Einheiten der elektromotorischen Kraft 290
B). Die Messung der elektromotorischen Kraft der galvanischen Elemente . . . 293
C). Die elektromotorische Kraft galvanischer Elemente 303
7). Die elektromotorische Kraft der Polarisation 305
A). Die Messung der elektromotorischen Kraft der Polarisation 305
B). Das Maximum der Polarisation 306
8). Die Gesetze der Wärmewirkungen des galvanischen Stroms 308
A). Das Joulesche Gesetz . 308
B). Die Gesetze des galvanischen Glühens von Metalldrähten 316
9). Die Gesetze der mechanischen Ueberführung von Elektrolyten durch den elektrischen Strom . 322
10). Die chemische Energie galvanischer Elemente 328
A). Die chemischen Vorgänge in galvanischen Elementen 329
B). Die Wärmeeffekte chemischer Vorgänge in galvanischen Elementen 332

Anhang.

I. Gelöste Aufgaben.

1). Aufgaben über die Messung der Stromstärke 337
A). Aufgaben über die Messung der Stromstärke mittels des Voltameters . 337
B). Aufgaben über die Messung der Stromstärke mittels der Tangentenbussole 346
2). Aufgaben über das Ohmsche Gesetz 352
3). Aufgaben über Stromverzweigungen 377
4). Aufgaben über die Berechnung des Leitungswiderstands 394

II. Ungelöste Aufgaben . 404

Formelnverzeichnis . 423

Alphabetisches Sachregister . 430
Alphabetisches Register der Worterklärungen 434
Alphabetisches Autorenregister . 435
Litteraturverzeichnis . 440

Berichtigungen.

Anmerkung. Dem Studierenden wird empfohlen, nachstehende Berichtigungen an den betreffenden Stellen einzutragen.

Seite

3 In Erkl. 13 sind die drei letzten Zeilen mit Ausnahme der Zahl 252 zu streichen.
30 Zeile 7 von unten rechts lies „5)." statt „4)."
31 In Erkl. 92 lies „Beweger" statt „bewegen".
128 In Frage 204 und in Antwort auf dieselbe sind die Worte „und der Gebrauch" zu streichen.
159 Zeile 11 von oben rechts lies „*Gassiot*" statt „*Gassirt*".
173 In Beispiel 16a). lies „(Kali K_2O)" statt „(Kali H_2O)".
195 Zeile 2 von oben rechts lies „elektrischen" statt „elektrolytischen".
221 Zwischen Zeile 6 und Zeile 7 von oben links ist einzuschieben: „der Schwefelsäure von 20 % Säuregehalt = 1,14".
233 Zeile 12 von unten rechts lies „nach Erkl. 546" statt „nach Vorstehendem".
245 Zeile 12 von unten rechts lies „unabhängig von" statt „proportional".
261 Zeile 4 von unten lies „J_1" statt „J".
267 Zeile 2 von oben links lies „l)." statt „n)."
Zeile 19 von unten bezeichne die Gleichung mit „m)....."
Zeile 14 von unten bezeichne die Gleichung mit „n)....."
270 Zeile 19 von unten lies „$= (a+c)(b+d)eE+(c+d)(b+d)aE+[(a+c)(b+d)ce+\ldots$"
271 Zeile 6 von unten lies „i)." statt „2)."
278 Zeile 16 von oben rechts bezeichne die Gleichung mit „c)....."
304 Zeile 3 von unten lies „Quecksilberoxydpaste" statt „Quelsilberoxydpaste".
315 Zeile 17 von unten links lies „9" statt „q".
345 Zeile 13 und Zeile 8 von unten links und Zeile 11 von unten rechts lies „Platintiegel" statt „Platinkegel".
352 Zeile 16 von unten links lies „Volt" statt „Voll".
Zeile 7 von unten links lies „E" statt "ε".
356 Zeile 3 von oben rechts setze hinter „Vergrösserung" noch „des Abstands".
364 Zeile 2 von oben links lies „47" statt „46".
378 Zeile 9 von oben links ist zwischen „in dem" und „in Aufgabe" einzuschalten „unverzweigten Teil des".
379 Zeile 11 von oben links ist der Nachsatz hinter „wird" zu streichen.
Hinter Zeile 10 von oben rechts ist zu setzen „mithin $w_1 = 6{,}4$ Ohm".

I. Teil.

(Populärer Teil.)

Die Kontaktelektricität

(Berührungselektricität, Galvanismus, dynamische oder strömende Elektricität).

1). Ueber den Begriff der Kontaktelektricität im allgemeinen.

Frage 1. Was versteht man unter Elektricität im allgemeinen?

Antwort. Unter Elektricität im allgemeinen versteht man die bis jetzt noch nicht ergründete Ursache einer Reihe von physikalischen, sogenannten elektrischen Erscheinungen.

Frage 2. Was versteht man unter Kontakt- oder Berührungselektricität?

Antwort. Unter Kontakt- oder Berührungselektricität versteht man die Elektricität, welche durch die gegenseitige Berührung heterogener Substanzen erregt wird (siehe die Erkl. 1—3).

Erkl. 1. Das Wort „Kontakt" (lat. contactus) heisst Berührung.

Erkl. 2. Das Wort „heterogen" (vom griech. ἑτερογενής) heisst verschiedenartig in seinen Bestandteilen.

Erkl. 3. Ausser durch gegenseitige Berührung heterogener Körper kann Elektricität auch durch Reibung, Stoss, Druck, Influenz, chemische Prozesse, Wärme, Temperaturdifferenz, Licht, Magnetismus etc. erregt werden. Man unterscheidet darnach Reibungselektricität, Thermo- (Wärme-) elektricität, Magnetoelektricität etc. (siehe Erkl. 4).

Erkl. 4. Die in voriger Erklärung erwähnten verschiedenen Bezeichnungen, welche man der Elektricität beilegt, beziehen sich nicht auf eine Verschiedenheit im Wesen der verschiedenartig erregten Elektricität, denn eine solche Verschiedenheit findet nicht statt, sondern sie beziehen sich nur auf die Art und Weise der Erregung selbst.

Frage 3. Welche besonderen Namen führt die Kontakt- oder Berührungselektricität?

Antwort. Die Kontakt- oder Berührungselektricität führt noch die besonderen Namen:

Galvanismus, weil *Galvani* einer der ersten war, der sie beobachtete (siehe Erkl. 5);

dynamische Elektricität (siehe Erkl. 6) oder

strömende Elektricität, im Gegensatz zur Reibungselektricität, welche auch statische oder ruhende Elektricität genannt wird (siehe *Kleyer*s Lehrb. der Reibungselektricität).

Erkl. 5. *Galvani*, geb. 9. Sept. 1737 zu Bologna, † 1798, war von 1762 an Professor der Anatomie zu Bologna.

Erkl. 6. Das Wort „dynamisch" (vom griech. δύναμις = Kraft) bedeutet durch innere Kraft wirkend, bewegend.

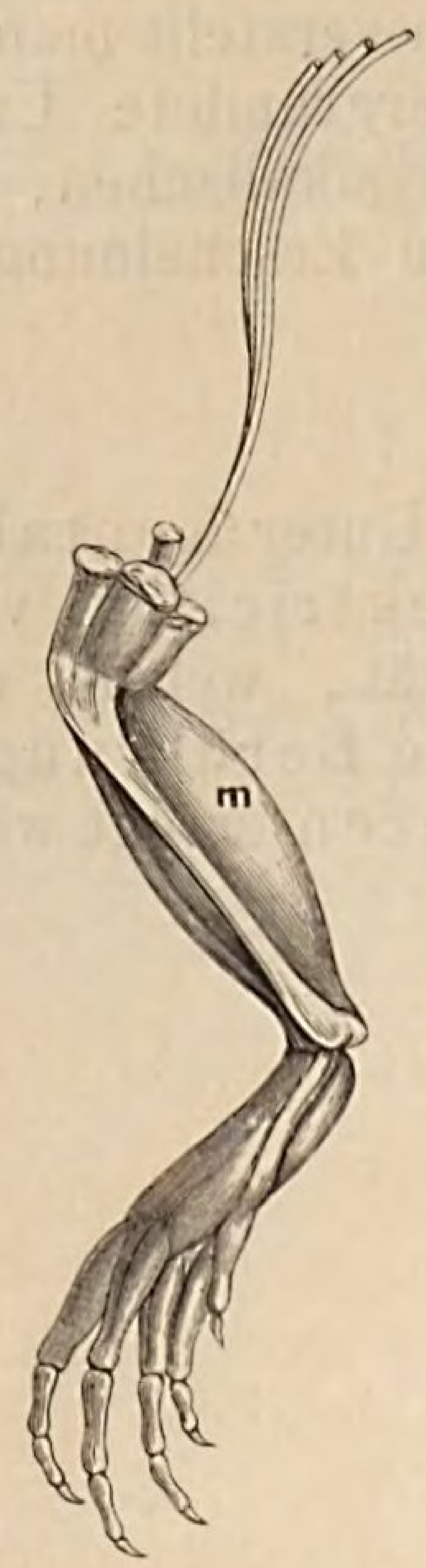
Frage 4. Auf welche Weise wurde die Kontaktelektricität entdeckt?

Antwort. *Galvani* beobachtete 1789, dass frisch getötete Frösche in der Nähe einer Elektrisiermaschine, aus welcher Funken gezogen wurden, in Zuckungen gerieten (siehe die Erkl. 7 und 8)*).

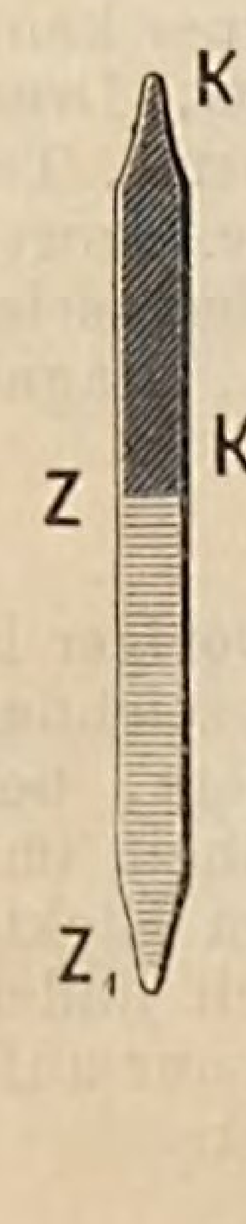
Bei den zur Ergründung dieser Erscheinung angestellten mannigfaltigen Versuchen fand *Galvani* ferner, dass die Schenkel der getöteten Frösche, welche er mittels eines kupfernen Hakens an einem eisernen Gitter aufgehängt hatte, jedesmal zuckten, so oft sie mit dem eisernen Gitter in Berührung kamen (siehe Erkl. 9).

*) Nach anderen sollen die Tiere auf einem metallenen Teller sich befunden und bei der Berührung mit einem Skalpell (d. i. ein chirurgisches Messer) gezuckt haben.

Figur 1.



Figur 2.



Erkl. 7. *Galvani* wurde von seiner Frau auf die in nebenstehender Antwort bezeichnete Erscheinung aufmerksam gemacht, welche sie bei der Zubereitung einer Mahlzeit wahrnahm.

Erkl. 8. Schon 1756 hatte *Caldani* zu Bologna Beobachtungen über Einwirkung der Elektricität auf tote Frösche, und 1760 *Sulzer* in der Berliner Akademie über Geschmackswirkungen sich berührender Metalle veröffentlicht. Diese Beobachtungen blieben jedoch unbeachtet.

Erkl. 9. Den Versuch *Galvanis* stellt man am einfachsten in folgender Weise an:

Ein frisch getöteter Frosch wird rasch enthäutet und der Unterschenkel desselben, siehe Figur 1, so präpariert, dass ein genügend grosses Stück des Nervs, welcher zum Wadenmuskel m führt, daran hängt. Man legt diesen Schenkel auf eine Glasplatte oder auf einen Porzellanteller und berührt den Nerv mit einem Kupferdraht, den Muskel mit einem Streifen Zinkblech. Sobald man die beiden Metalle in Berührung bringt, gerät der Schenkel in Zuckungen.

Oder man benutzt, siehe Figur 2, einen zur Hälfte (von K bis K_1) aus Kupfer, zur Hälfte (von Z bis Z_1) aus Zink zusammengesetzten biegsamen Streifen und berührt mit dem einen Ende den Nerv, mit dem andern Ende den Muskel (siehe Erkl. 10).

Erkl. 10. Die Vorbereitungen zu dem in vorstehender Erklärung angegebenen Experiment müssen möglichst rasch ausgeführt werden, weil die Wirkung in kurzer Zeit stark abnimmt. Schon 30 Minuten nach dem Tode des Tieres sind die Zuckungen kaum mehr bemerkbar.

Frage 5. Wie suchte *Galvani* die von ihm beobachteten Zuckungen toter Frösche zu erklären?

Antwort. *Galvani* nahm an, dass in den Nerven eine Flüssigkeit enthalten sei, die er die Lebensflüssigkeit nannte. Dieselbe, so meinte er, gehe durch eine metallische Leitung, z. B. des Hakens und des Gitters, zu den Muskeln über und erzeuge dadurch die Zuckungen der Froschschenkel (siehe Erkl. 11).

Erkl. 11. Ueber die verschiedenen Hypothesen (siehe Erkl. 12), durch welche das Wesen der Kontaktelektricität sowie der Elektricität im allgemeinen zu erklären versucht wird, findet man ausführliches in einem späteren Abschnitt.

Erkl. 12. Hypothese (vom griech. ὑπόθεσις) ist eine Folgerung, welche auf einer wahrscheinlichen, aber nicht bewiesenen Voraussetzung beruht.

Frage 6. Von wem wurde die in voriger Antwort gegebene Ansicht *Galvanis* auf ihre Richtigkeit geprüft?

Antwort. Die aufsehenerregenden Veröffentlichungen *Galvanis* über seine Entdeckung veranlassten viele Gelehrte, sich mit dem Studium dieser Entdeckung zu befassen.

Es war *Volta* vorbehalten, durch eingehende und scharfsinnige Beobachtungen die Ansichten *Galvanis* zu widerlegen (siehe Erkl. 13).

Erkl. 13. Graf *Alessandro Volta* ist am 18. Februar 1745 zu Como geboren. Von 1779 bis 1804 war er Professor der Physik in Pavia und starb am 5. April 1827 zu Como. Derselbe erfand das Elektrophor (siehe *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität, Seite 78), den Kondensator (ebendaselbst Seite 193), die elektrische Pistole (ebendaselbst Seite 252) und die elektrische Lampe (siehe das Kapitel über die Lichtwirkungen der Elektricität).

Frage 7. Was ergaben die Forschungen *Voltas* über die von *Galvani* gemachten Beobachtungen (siehe Antwort auf Frage 4)?

Antwort. *Volta* bewies im Jahre 1793, dass der Galvanismus nicht in den Nerven des Tieres, wie *Galvani* nach Antwort

auf Frage 5 annahm, sondern durch die gegenseitige Berührung der beiden heterogenen Metalle erregt wird.

Er lieferte diesen Beweis dadurch, dass er Galvanismus auch ohne Zuhülfenahme tierischer Körper, durch alleinige Berührung heterogener Metalle erregte (siehe Erkl. 14).

Erkl. 14. Ueber die der in nebenstehender Antwort bezeichneten Entdeckung zu Grunde liegenden wichtigen Versuche *Volta*s findet man ausführliches im folgenden Kapitel.

2). Ueber die Erregung der Elektricität durch Berührung.

A). Ueber die Erregung der Elektricität durch Berührung im allgemeinen.

Frage 8. Auf welche bis jetzt bekannten Weisen kann man Elektricität durch Berührung erregen?

Antwort. Elektricität kann man durch Berührung auf verschiedene Weise erregen und zwar:

a). durch gegenseitige Berührung von heterogenen Metallen;

b). durch Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten;

c). durch gegenseitige Berührung von heterogenen Flüssigkeiten;

d). durch Berührung von Metallen mit Gasen;

e). sehr wahrscheinlich auch durch gegenseitige Berührung heterogener Substanzen überhaupt (siehe Erkl. 15).

Erkl. 15. Der Nachweis der Elektricität bei der gegenseitigen Berührung einer Anzahl von Substanzen ist noch nicht mit Sicherheit erbracht.

B). Ueber die Erregung von Elektricität durch gegenseitige Berührung von Metallen.

a). Ueber Voltas Fundamentalversuch.

Frage 9. Mittels welcher Experimente kann man nachweisen, dass bei gegenseitiger Berührung von Metallen Elektricität erregt wird?

Antwort. Die Experimente, durch welche nachgewiesen wird, dass bei gegenseitiger Berührung von Metallen Elektricität erregt wird, sind bekannt unter dem Namen des Voltaschen Fundamentalversuchs (siehe Erkl. 16).

Diese Experimente werden auf folgende Arten ausgeführt:

1). Zwei gleichgrosse runde Platten *K* und *Z*, siehe Figur 3, aus verschiedenen Metallen, z. B. die eine aus Kupfer,

Erkl. 16. Die Bezeichnung Fundamentalversuch wurde den in nebenstehender Antwort beschriebenen Experimenten gegeben, weil *Volta* damit die Lehre von der Kontaktelektricität im Jahre 1793 begründete (siehe die Antworten auf die Fragen 6 und 7).

Erkl. 17. Isolieren (vom italien. isolare, d. i. ausser Verbindung setzen) bedeutet „die Elektricität nicht fortleiten“. Isolatoren nennt man alle diejenigen Körper, welche die

Elektricität durch Mitteilung (siehe Erkl. 18) nur an einzelnen Stellen oder nur in ganz geringem Grad aufnehmen.

Die besten Isolatoren (die schlechtesten Leiter) sind Glas, Harze (Schellack), ungefärbte Seide, trockene atmosphärische Luft (siehe Erkl. 25 und *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität).

Erkl. 18. Bringt man einen isolierten unelektrischen Körper, einen isolierten Leiter, mit einem elektrischen Körper in Berührung, so wird jener Körper auch elektrisch und man sagt: der Körper wurde durch Mitteilung elektrisch oder durch Mitteilung elektrisiert (siehe *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität).

Erkl. 19. Zum Nachweis der Elektricität bedient man sich der Elektroskope, Elektrometer und Kondensatoren (siehe die Erkl. 20—22).

Die bekanntesten Elektroskope sind:
1). das einfache elektrische Pendel;
2). die elektrische Nadel von *Gilbert*;
3). das elektrische Doppelpendel;
4). das elektrische Horizontalpendel von *Weinhold*;
5). das Franklinsche Elektroskop;
6). das Elektroskop von *Saussure*;
7). das Elektroskop von *Cavallo*;
8). das Strohhalmelektroskop von *Volta*;
9). das Bennetsche Goldblattelektroskop von *Weiss*;
10). das Bifilarelektroskop von *v. Beetz*;
11). das Bennetsche Goldblattelektroskop von *Riess*;
12). die Säulenelektroskope von *Behrens*, *Bohnenberger*, *Bequerel*, *Fechner* und *Riess*.

Betreffs des unter 9). erwähnten Elektroskops siehe die Erkl. 20 und 21.

Die übrigen, vorstehend genannten Elektroskope findet man beschrieben und abgebildet in *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität.

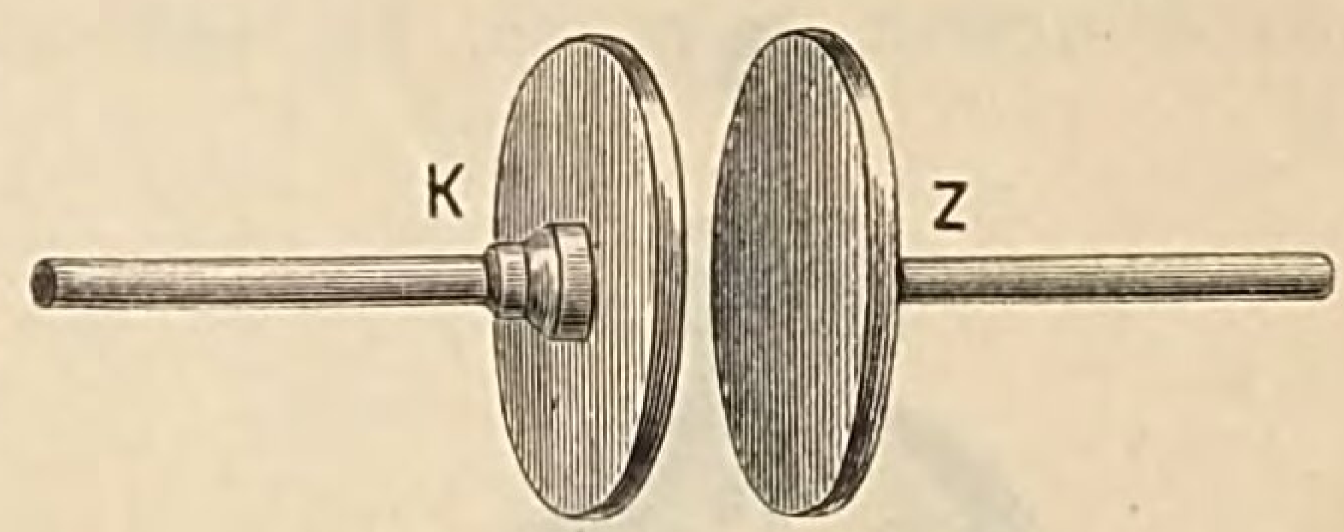
Erkl. 20. Die Einrichtung der Elektroskope im allgemeinen beruht auf dem Gesetz, dass gleichnamig elektrische Körper sich abstossen, ungleichnamig elektrische Körper sich anziehen (siehe Erkl. 24 und *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität).

Erkl. 21. Die Goldblattelektroskope, welche bei den in nebenstehender Antwort beschriebenen Experimenten Anwendung finden, siehe die Figuren 5 und 6, bestehen im allgemeinen aus einem Glasballon B, siehe Figur 5, welcher durch eine Messingkapsel luftdicht abgeschlossen ist. Durch die Messingkapsel ist der Messingdraht a, mit Schellack sorgfältig isoliert (siehe Erkl. 17), hindurchgeführt; derselbe trägt am oberen Ende die Messingkugel f, am unteren Ende die Goldblättchen pp_1 in gut leitender Verbindung (siehe Erkl. 25).

Das durch die Figur 6 dargestellte Goldblattelektroskop trägt statt des Knopfs f in

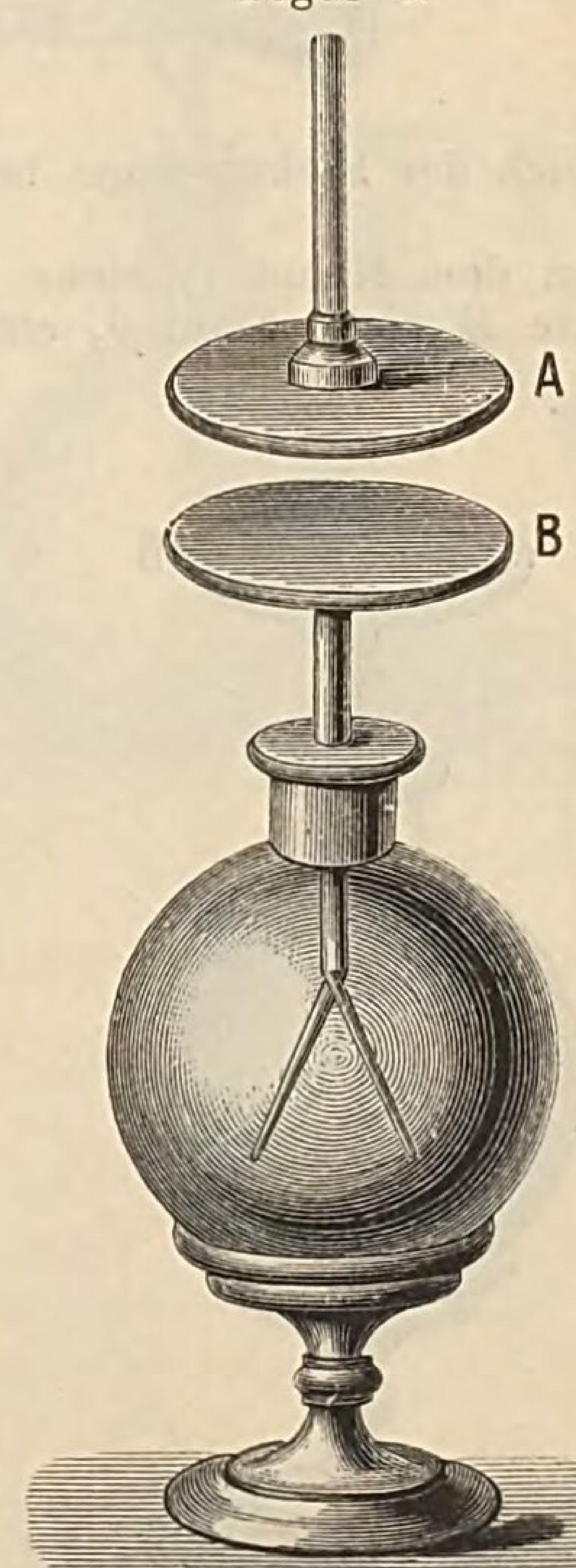
die andre aus Zink, welche auf das Feinste aufeinander geschliffen und mit isolierenden Handgriffen aus Glas versehen sind (siehe Erkl. 17), werden aneinander

Figur 3.



gelegt und alsdann in möglichst paralleler Richtung wieder von einander getrennt. Alsdann wird die eine Platte mit der Kondensatorplatte A, die andre

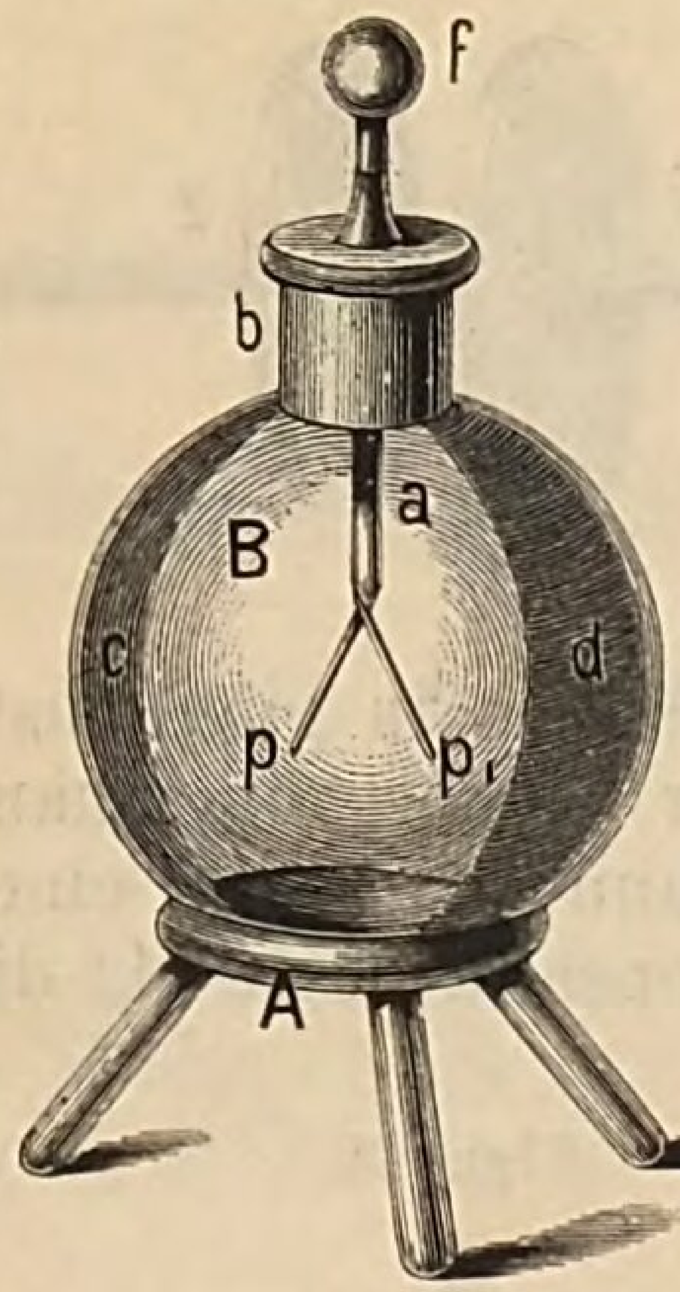
Figur 4.



mit der Kollektorplatte B des mit Kondensator versehenen Elektroskops, siehe Figur 4, in Berührung gebracht (siehe die Erkl. 18—34). Nach mehrmaligem Wiederholen der eben beschriebenen Manipulationen zeigen die Goldblättchen

Figur 5 ein Schraubengewinde, auf welches eine Metallplatte *B* angeschraubt und nach Belieben durch eine andre gleichgrosse Metallplatte ersetzt werden kann. Dieses Elektroskop ist zur Kombination mit einem Kondensator geeignet (siehe die Erkl. 29—34).

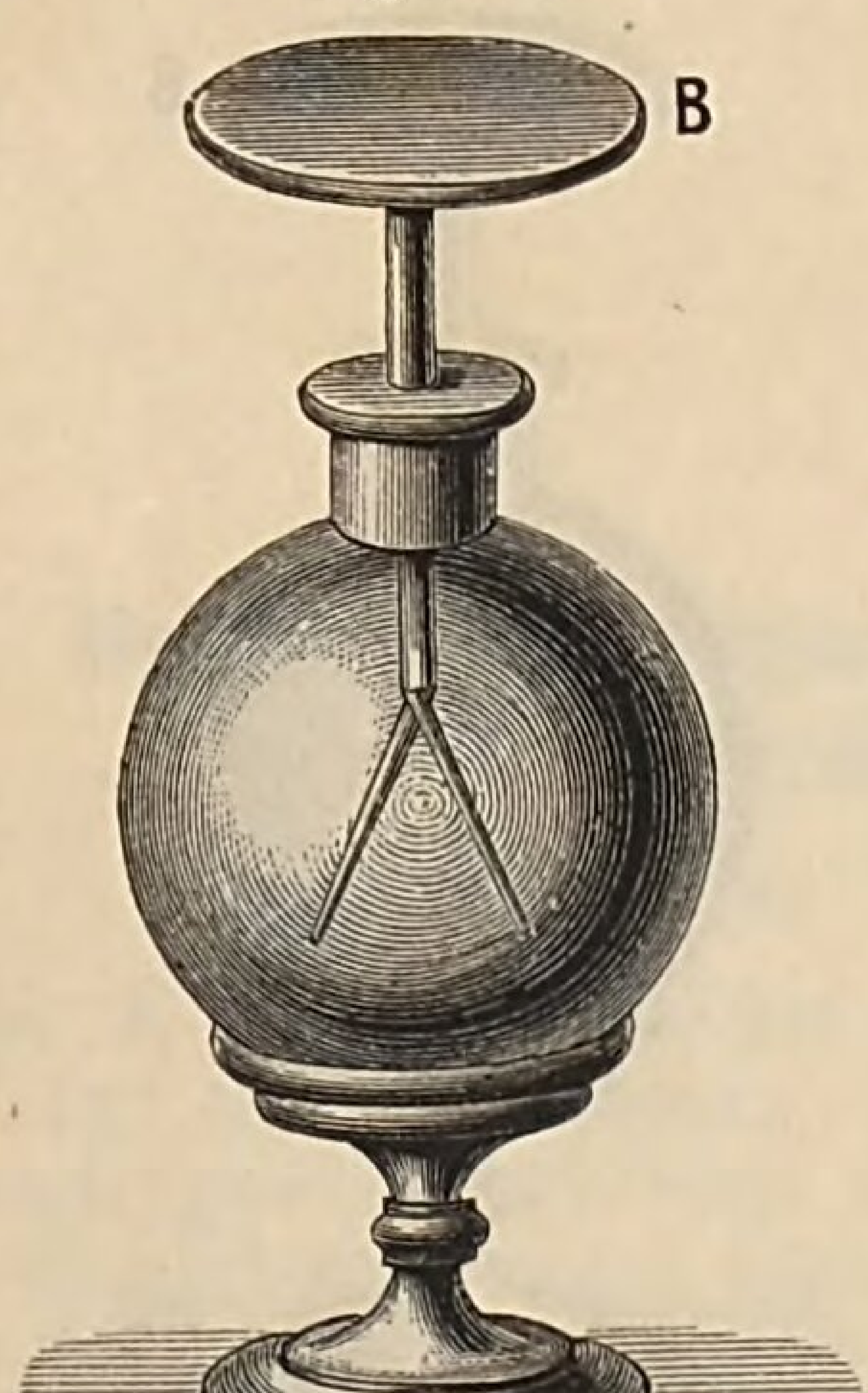
Figur 5.



Der Gebrauch der Elektroskope besteht in folgendem:

Nähert man dem Knopf *f*, siehe Figur 5, oder der Platte *B*, siehe Figur 6, einen elek-

Figur 6.

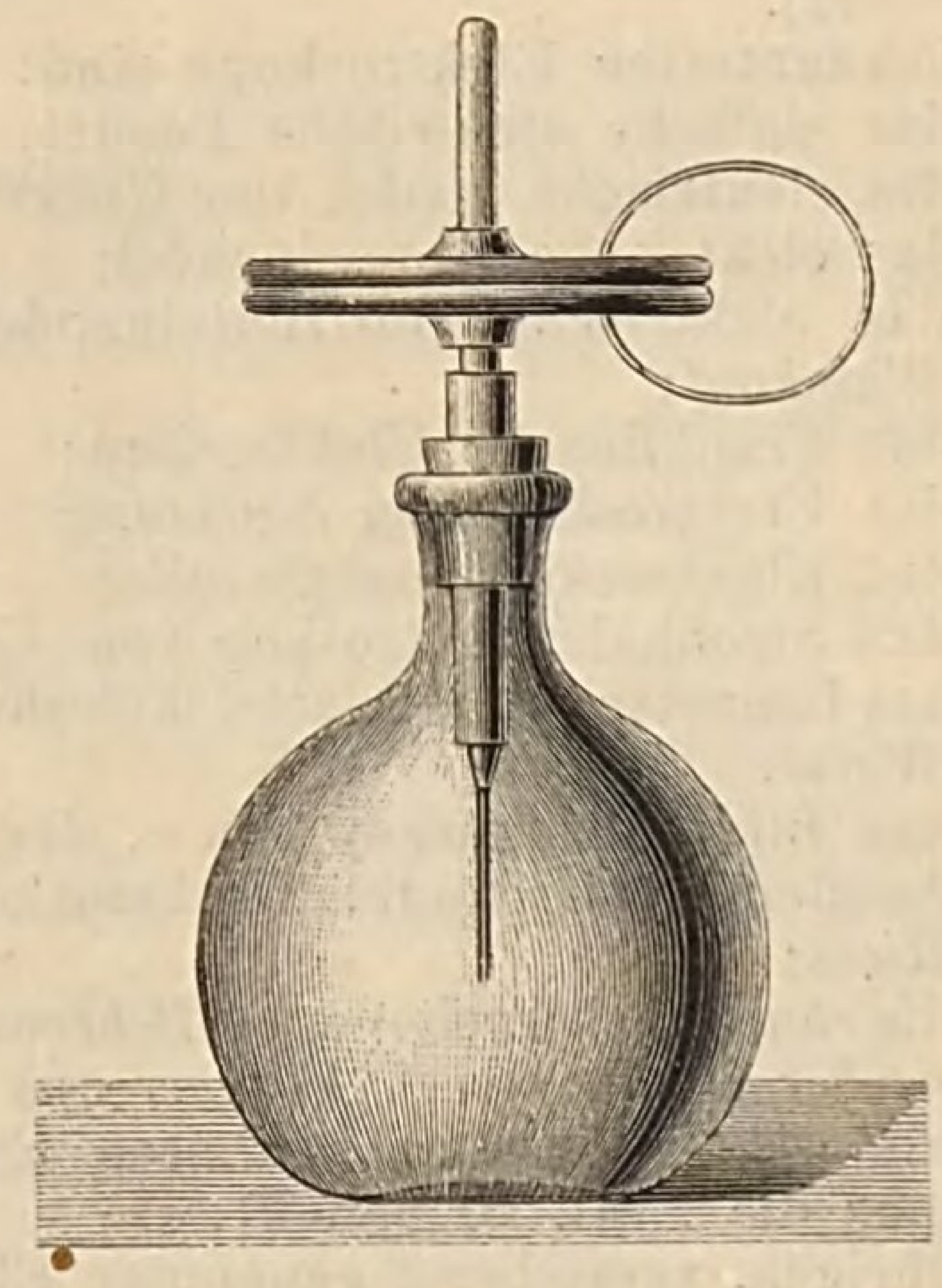


trischen Körper, so wird auf dem Knopf und den damit in leitender Verbindung stehenden Goldblättchen durch Influenz Elektricität erregt (siehe Erkl. 26), und zwar wird sich in dem Knopf die Influenzelektricität 1ter Art, in den von dem genäherten elektrischen Körper entfernteren Goldblättchen die Influenzelektricität des Elektroskops durch Divergenz an, dass sie elektrisch geworden sind (siehe die Erkl. 19 und 20).

2). Die eine der beiden Platten *K* und *Z*, siehe Figur 3, wird direkt auf das Elektroskop, siehe Figur 4, aufgeschraubt. Alsdann wird die andre Metallplatte aufgesetzt und in der unter 1). beschriebenen Weise wieder entfernt. Hierbei genügt schon eine einzige Trennung, um die Divergenz der Goldblättchen zu bewirken.

3). Die beiden Platten *K* und *Z*, siehe Figur 3, werden auf ihren Berührungs-

Figur 7.



flächen gefirnist; die eine Platte wird wiederum, wie unter 2). angegeben, auf das Elektroskop geschraubt und die andre Platte darauf gesetzt. Alsdann berührt man die äusseren nicht gefirnisten Flächen der Platten mit einem Metalldraht, der an der Stelle, wo er angefasst wird, isoliert ist (siehe Figur 7 und Erkl. 17). Nachdem der Draht wieder entfernt ist, zeigt sich eine gleichgrosse Divergenz der Goldblättchen, wie bei der unter 2). beschriebenen Ausführung des Versuchs.

4). Die bei dem unter 3). beschriebenen Versuche benutzten gefirnisten Platten werden in der beschriebenen Weise aufeinander gesetzt. Die Kollektorplatte wird mit einem in der Hand (siehe Erkl. 21a) gehaltenen Stab aus dem

tät 2ter Art ansammeln (siehe die Erkl. 27 und 28). Die Goldblättchen werden sich somit abstossen, sie werden divergieren (siehe *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität und Erkl. 20).

Erkl. 21a. Durch Berührung eines elektrischen Körpers mit einem Teil des menschlichen Körpers, z. B. der Hand, wird die Elektricität eines Körpers zur Erde abgeleitet (siehe Erkl. 27).

Erkl. 22. Für den Nachweis sehr schwacher Elektricitätserregungen sind die Goldblattelektroskope nicht empfindlich genug; hierzu verwendet man die Säulenelektroskope (siehe Erkl. 19).

Erkl. 23. Es gibt zwei und nur zwei verschiedene, und zwar zwei entgegengesetzte elektrische Zustände und somit auch zwei entgegengesetzte Elektricitäten (das sind die Ursachen der beiden verschiedenen elektrischen Zustände).

Wird nämlich einmal Glas mit einem amalgamierten Lederlappen, ein andermal Harz mit Wolle oder Pelzwerk gerieben, so wird im ersten Fall das Glas stets positiv, im zweiten Fall das Harz stets negativ elektrisch. Diese Bezeichnungen positiv und negativ sind ein für allemal durch ein Uebereinkommen der wissenschaftlichen Welt bestimmt (siehe *Kleyers* Lehrb. der Reibungselektricität und Erkl. 24).

Erkl. 24. Sind zwei Körper beide positiv oder beide negativ elektrisch erregt (oder wie man auch sagt „elektrisiert“), so nennt man sie gleichnamig elektrisch. Ist der eine der beiden Körper positiv, der andre negativ elektrisch, so nennt man die beiden Körper ungleichnamig elektrisch.

Erkl. 25. Unter guten Leitern der Elektricität versteht man alle diejenigen Körper, welche die Elektricität durch Mitteilung leicht aufnehmen und auf ihrer ganzen Oberfläche fortpflanzen.

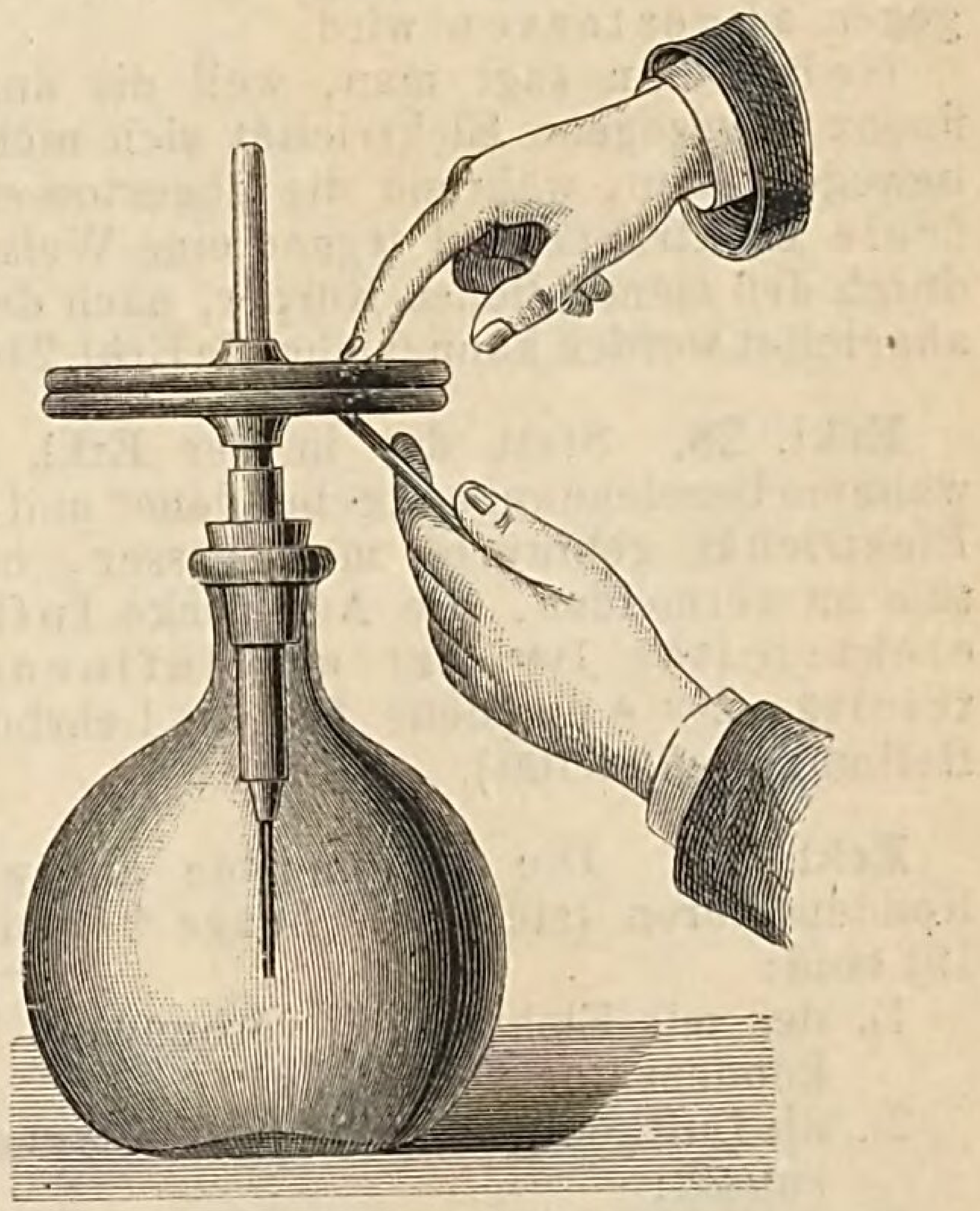
Ueber die guten, schlechten und Halbleiter der Elektricität findet man ausführliches in *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität.

Erkl. 26. Unter dem Gesetz der elektrischen Influenz oder Verteilung versteht man die Erscheinung, dass wenn man einem isolierten Leiter (siehe die Erkl. 17 und 25) einen elektrischen Körper nähert, ohne ihn zu berühren, er ebenfalls elektrisch wird, dabei aber an dem Ende, welches dem genäherten Körper zugewendet ist, solche Elektricität zeigt, welche mit der des genäherten Körpers ungleichnamig ist, und an demjenigen Ende, welches dem genäherten Körper abgewendet ist, solche Elektricität zeigt, welche mit der des genäherten Körpers gleichnamig ist (siehe Erkl. 24).

Dies Gesetz wird auch in folgender Weise ausgedrückt:

gleichen Metall wie die Kondensatorplatte, letztere dagegen mit einem Finger der andern Hand berührt (siehe Figur 8 und Erkl. 27). Wird darauf der Metallstab und der Finger entfernt und die Kondensatorplatte abgehoben, so zeigen die Goldblättchen ebenfalls durch Divergenz an, dass sie elektrisch geworden sind.

Figur 8.



„Jede Elektricität bewirkt in ihrer Nähe ein Herbeiströmen der entgegengesetzten und ein Wegströmen der gleichnamigen Elektricität.“

Ausführliches über die elektrische Influenz findet man in *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität und in *Mays* Lehrbuch der Induktionselektricität.

Erkl. 27. Den in der Erkl. 26 gebrauchten Ausdrücken Herbei- und Wegströmen liegt die Hypothese zu Grunde, dass jeder Körper im unelektrischen Zustand beide Elektricitäten in gleicher Menge und vollkommen gleicher Verteilung enthält, und dass durch Influenz eine Verteilung der beiden Elektricitäten stattfindet, so zwar, dass die ungleichnamige Elektricität durch die Influenzelektricität gebunden, angezogen, die gleichnamige dagegen abgestossen wird.

Gebunden sagt man, weil die durch Influenz angezogene Elektricität sich nicht fortbewegen kann, während die abgestossene, die freie Elektricität auf irgend eine Weise, z. B. durch den menschlichen Körper, nach der Erde abgeleitet werden kann (siehe die Erkl. 21ª u. 28).

Erkl. 28. Statt der in der Erkl. 27 erwähnten Bezeichnungen „gebundene“ und „freie“ Elektricität gebraucht man besser, um Irrtum zu vermeiden, die Ausdrücke Influenzelektricität 1ter Art und Influenzelektricität 2ter Art (siehe *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität).

Erkl. 29. Die am meisten angewandten Kondensatoren (siehe die Frage 9 und Erkl. 19) sind:

1). der mit Elektroskop verbundene Firniskondensator von *Volta*;
2). die Luftkondensatoren von *Riess* und *Kohlrausch*;
3). der Wachstaffetkondensator von *Stöhrer* (siehe Erkl. 30).

Erkl. 30. Die unter 2). und 3). erwähnten Kondensatoren findet man beschrieben und abgebildet in *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität.

Betreffs des Firniskondensators siehe Erkl. 31.

Erkl. 31. Der Voltasche Firniskondensator, siehe Figur 4, welcher bei den in nebenstehender Antwort beschriebenen Experimenten Anwendung findet, besteht aus den beiden gleichgrossen kreisförmigen Metallplatten A und B, welche an den Flächen, mit welchen sie sich beim Gebrauch berühren, gefirnist sind. Die Platte A ist an einem gläsernen Handgriff, die Platte B auf ein Elektroskop (siehe Erkl. 21) aufgeschraubt. A wird die Kondensatorplatte, B die Kollektorplatte genannt (siehe die Erkl. 32 und 33).

Erkl. 32. Das Wort „Kondensator“ (neulatein.), vom latein. condensare = verdichten, heisst Verdichter.

Erkl. 33. Das Wort „Kollektor“ (neulatein.), vom latein. colligere = sammeln, heisst Sammler.

Erkl. 34. Der Gebrauch und die Wirkungsweise des Firniskondensators besteht in folgendem:

Teilt man dem Kollektor *B* des Kondensators, siehe Figur 4, welcher mit einem Elektroskop in Verbindung steht (siehe Erkl. 21), durch Berührung mit einem elektrischen Körper Elektricität mit, nachdem man vorher die Kondensatorplatte *A* auf den Kollektor *B* gesetzt hat, so kann diese Elektricität nicht auf die Platte *A* übergehen, da beide Platten durch die Firnisschicht isoliert sind (siehe Erkl. 17); sie wirkt aber auf die Platte *A* influenzierend (siehe *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität und Erkl. 26).

Wird nun die auf der Kondensatorplatte *A* erregte Influenzelektricität 2ter Art (siehe Erkl. 28), welche mit der Elektricität des Kollektors *A* gleichnamig ist (siehe Erkl. 24), auf irgend eine Weise, z. B. durch Berührung mit dem Finger zur Erde abgeleitet (siehe Erkl. 21a), so wird die auf der Platte *A* zurückbleibende Influenzelektricität der 1ten Art die Elektricität der Platte *B*, welche mit ihr ungleichnamig ist, binden, und hierdurch wird die Kollektorplatte *B* befähigt, noch weitere Elektricität aufnehmen zu können.

Hebt man alsdann die Kondensatorplatte *A* an dem isolierenden Handgriff auf, so wird die Elektricität auf der Platte *B* frei (siehe Erkl. 27); sie verbreitet sich auf der ganzen Platte und den mit ihr leitend verbundenen Goldblättchen, so dass dieselben sich abstossen (divergieren) müssen (siehe Erkl. 20).

Frage 10. Wie wird der elektrische Zustand, welchen die Metalle bei der Berührung annehmen, festgestellt?

Antwort. Um den elektrischen Zustand, welchen zwei Metalle bei gegenseitiger Berührung annehmen, festzustellen, d. h. um zu untersuchen, ob die Metalle positiv oder negativ elektrisch sind (siehe Erkl. 23), verfährt man folgendermassen:

Die beiden zu untersuchenden Metallplatten bestehen z. B. wieder, wie bei den in voriger Antwort beschriebenen Versuchen, aus Kupfer und Zink.

Zuerst verwendet man zur Ladung der Elektroskopgoldblättchen die Zinkplatte als Kollektor, die Kupferplatte als Kondensator. Nachdem die Goldblättchen zur Divergenz gebracht worden (siehe Erkl. 21), nähert man dem Elektroskop eine mit Pelzwerk geriebene Harzstange. Alsbald werden die Goldblättchen weniger stark divergieren; sie sind also positiv elektrisch (siehe die Erkl. 20, 23 und 26).

Erkl. 35. Aus nebenstehender Antwort ergibt sich, dass wenn zwei Metalle in Berührung gebracht werden, das eine jener Metalle positiv, das andre negativ elektrisch wird.

Nun wiederholt man den Versuch mit vertauschten Metallplatten, so dass der Kollektor aus Kupfer, der Kondensator aus Zink besteht. Nähert man nun den divergierenden Goldblättchen die mit Pelzwerk geriebene Harzstange, so wird ihre Divergenz vergrössert, sie sind also negativ elektrisch.

Bei der Berührung von Kupfer mit Zink wird demnach das Kupfer positiv, das Zink negativ elektrisch (siehe Erkl. 35).

b). Ueber die elektrische Spannungsreihe und die elektromotorische Kraft.

Frage 11. Wenn irgend ein Metall mit mehreren andern Metallen der Reihe nach in Berührung gebracht wird, ist alsdann die auf jenem Metall erregte Elektricität stets von derselben Art?

Antwort. Wird, wie in Antwort auf Frage 9 gezeigt, irgend ein Metall *A* mit verschiedenen Metallen *B*, *C*, *D* . . . der Reihe nach in Berührung gebracht, so ist die auf jenem Metall *A* hierdurch erregte Elektricität nicht immer von derselben Art; sie ist nämlich je nach der Art der zur Berührung gewählten Metalle bald positiv, bald negativ, wie man aus den folgenden Beispielen ersehen kann:

1. Beispiel: Kupfer wird bei der Berührung mit Zink negativ, dagegen bei der Berührung mit Silber positiv elektrisch;

2. Beispiel: Silber wird bei der Berührung mit Kupfer negativ, dagegen bei der Berührung mit Gold positiv elektrisch;

3. Beispiel: Silber wird bei der Berührung mit Zink negativ, dagegen bei der Berührung mit Palladium positiv elektrisch u. s. f.

Frage 12. Was versteht man unter der sog. elektrischen Spannungsreihe?

Antwort. Unter der sog. elektrischen Spannungsreihe (siehe die Antworten auf die Fragen 19 und 20) versteht man eine reihenartige Zusammenstellung von festen Körpern, welche so angeordnet ist, dass jeder in dieser Reihe aufgeführte Körper, mit einem der ihm nachstehenden Körper in Berüh-

rung gebracht, **positiv** elektrisch wird, dagegen mit einem der ihm **voranstehenden** Körper in Berührung gebracht, **negativ** elektrisch wird (siehe Antwort auf vorige Frage).

In nachfolgendem sind einige der bekanntesten elektrischen Spannungsreihen angegeben (siehe die Erkl. 36 und 37).

Spannungsreihe nach

Volta	*Seebeck*	*Munk*	*Pfaff*	*Péclet*
+	+	+	+	+
Zink	Zink		Zink	Zink
Blei	Blei poliert		Cadmium	Blei
Zinn	Zinn		Zinn	Zinn
Eisen	Blei rauh		Blei	Wismut
Kupfer	Antimon	Kupfer	Wolfram	Antimon
Silber	Wismut	Silber	Eisen	Eisen
Gold	Eisen	Kohle	Wismut	Kupfer
Kohle	Kupfer	Gold	Antimon	Gold
Graphit	Platin	schwarzes Schwefel-quecksilber	Kupfer	—
Braunstein	Silber		Silber	
—	—		Gold	
		Schwefelkies	Uran	
		Braunstein	Tellur	
		Bleisuperoxyd	Platin	
		—	Palladium	
			—	

Erkl. 36. Ueber die in nebenstehender Antwort angegebenen Spannungsreihen sei bemerkt, dass diejenige *Voltas* im Jahre 1802, diejenige *Seebecks* 1822, diejenige *Munks* 1835, die *Pfaff*sche 1840, die *Péclet*sche Reihe 1841 veröffentlicht wurden.

Erkl. 37. Die in nebenstehender Antwort aufgeführten Spannungsreihen stimmen nicht ganz überein, was seinen Grund darin haben mag, dass vielleicht einige der von den betreffenden Physikern untersuchten Metalle nicht chemisch rein waren.

Frage 13. Aus welcher Art von Körpern setzt sich die **elektrische Spannungsreihe** zusammen, und wie werden solche Körper genannt, die der elektrischen Spannungsreihe angehören?

Erkl. 38. Die Flüssigkeiten lassen sich im allgemeinen nicht in die Spannungsreihe einordnen (siehe Antwort auf Frage 22).

Erkl. 39. Statt der in nebenstehender Antwort gewählten Ausdrücke „**Leiter erster und Leiter zweiter Ordnung**" bedient man sich wohl auch der Ausdrücke „**Leiter erster und Leiter zweiter Klasse**".

Antwort. Wie aus den in voriger Antwort angeführten Spannungsreihen ersichtlich, sind es **hauptsächlich die Metalle**, welche der **elektrischen Spannungsreihe** angehören; sie werden nach *Volta* „**Leiter erster Ordnung**" genannt, im Gegensatz zu den leitenden Flüssigkeiten, welche man nach *Volta* „**Leiter zweiter Ordnung**" nennt (siehe die Erkl. 38 und 39 und Antwort auf Frage 22).

Frage 14. Wie nennt man die Ursache, welche bewirkt, dass bei gegenseitiger Berührung heterogener Körper Elektricität erregt wird?

Erkl. 40. Das Wort „elektromotorisch“ (griech.-latein.) bedeutet „Elektricität erregend“.

Antwort. Die Ursache, welche bewirkt, dass bei gegenseitiger Berührung heterogener Körper Elektricität erregt wird, nennt man elektromotorische Kraft (siehe Erkl. 40).

Frage 15. Was versteht man unter der elektrischen Spannung?

Erkl. 41. Wie in *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität nachgewiesen ist, zeigt ein elektrischer Körper stets nur eine Art freier Elektricität. Dies ist eines der wesentlichsten Unterscheidungsmerkmale zwischen der Elektricität und dem Magnetismus, dessen beide entgegengesetzte Zustände stets gleichzeitig an einem und demselben Körper auftreten (siehe *Kleyers* Lehrbuch des Magnetismus).

Erkl. 42. Das Wort „Fluidum“ (latein.) heisst Flüssigkeit. Wie aus nebenstehender Antwort hervorgeht, betrachtet man die Elektricität als ein Fluidum (siehe *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität Seite 33).

Erkl. 43. Die freie Elektricität hat ihren Sitz stets nur auf der Oberfläche der Körper, das Innere elektrischer Körper zeigt sich stets unelektrisch (siehe *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität Seite 35—41).

Erkl. 44. Das in nebenstehender Antwort angedeutete Verhalten der elektrischen Körper wird durch die Symmersche Hypothese (siehe *Kleyers* Lehrbuch der Reibungselektricität) wie folgt zu erklären versucht:

In jedem Körper werden zwei entgegengesetzte elektrische Fluida (siehe Erkl. 42), nämlich ein positives und ein negatives Fluidum, als von Natur aus vorhanden, angenommen. Ferner wird angenommen, dass sich die Teilchen des gleichnamigen Fluidums abstossen, dass sich aber die Teilchen der entgegengesetzten Fluida anziehen, dass sonach jeder Körper in seinem natürlichen „neutralen“ Zustand gleiche Mengen der beiden entgegengesetzten elektrischen Fluida enthält, welche miteinander vereinigt sind oder, wie man sagt, sich neutralisieren oder binden. Darnach bezeichnet man einen Körper als positiv oder negativ elektrisch, je nachdem er einen Ueberschuss an positivem oder negativem elektrischen Fluidum hat, d. h. je nachdem ihm noch positive oder negative Elektricität mitgeteilt, oder je nachdem ihm negative oder positive Elektricität entzogen wurde; man spricht alsdann auch von „freier“ positiver, bezw. von „freier“ negativer Elektricität, im Gegensatz zu der „gebundenen“

Antwort. Da sich auf jedem isolierten elektrischen Körper nur eine Art freier Elektricität, nämlich entweder nur positive oder nur negative Elektricität befindet (siehe Erkl. 41), so haben die einzelnen Teilchen eines solchen elektrischen Fluidums (siehe Erkl. 42) nach dem elektrischen Grundgesetz

„Gleichnamige Elektricitäten stossen sich ab, ungleichnamige Elektricitäten ziehen sich an“

das Bestreben, sich so weit als möglich abzustossen und sich auf der Oberfläche jenes Körpers so weit als möglich zu verbreiten (siehe die Erkl. 20 und 43). Den Zustand nun, in welchem sich die so verteilte Elektricität befindet, nennt man die elektrische Spannung. Würde dieser Weiterverbreitung durch die jenen isolierten Körper umgebende Luft (siehe Erkl. 17) kein Hindernis entgegengesetzt, so würde jener Körper seinen neutralen oder latenten Zustand (siehe Erkl. 44) wieder annehmen. Deshalb kann man auch sagen: Das Bestreben eines elektrisierten Körpers, seinen neutralen Zustand wieder anzunehmen, nennt man die elektrische Spannung (siehe die Erkl. 45 und 46).

Elektricität, welche man beim neutralen oder latenten Zustand der Körper annimmt.

Erkl. 45. Wie sich aus einem späteren Abschnitt ergibt, wird die elektrische Spannung durch die sog. elektrische Dichte gemessen (siehe Erkl. 46).

Erkl. 46. Unter der elektrischen Dichte versteht man die auf der Flächeneinheit eines elektrischen Körpers angehäufte Elektricitätsmenge (siehe *Kleyer*s Lehrbuch der Reibungselektricität, den mathematischen Teil dieses Buches und *May*s Lehrbuch des Elektromagnetismus).

Frage 16. Was versteht man unter der elektrischen Spannungsdifferenz?

Antwort. Unter der elektrischen Spannungsdifferenz versteht man den Unterschied zwischen derjenigen freien positiven Elektricität, welche auf dem einen Körper A erregt wird, und derjenigen freien negativen Elektricität, welche auf dem andern Körper B erregt wird, wenn diese beiden Körper A und B zur Berührung gebracht werden.

Frage 17. Wie kann man nunmehr den Begriff der elektromotorischen Kraft in andrer Weise, als er in Antwort auf Frage 14 gegeben, auffassen?

Antwort. Den Begriff der elektromotorischen Kraft kann man nach voriger Antwort auch auffassen als die Ursache, welche auf sich berührenden heterogenen Körpern eine elektrische Spannungsdifferenz hervorbringt.

Frage 18. Welche Grundsätze wurden in bezug auf die elektromotorische Kraft aufgestellt?

Antwort. In bezug auf die elektromotorische Kraft wurden folgende Grundsätze aufgestellt:

1). Die Grösse der elektromotorischen Kraft ist einzig und allein abhängig von der Natur der Körper, welche zur Berührung gebracht werden;

2). die Grösse der elektromotorischen Kraft ist bei zwei bestimmten, sich berührenden Körpern stets die gleiche, einerlei, welche Gestalt und Grösse die sich berührenden Körper besitzen, und einerlei, welche Ausdehnung die Berührungsflächen haben;

3). die elektromotorische Kraft ist unabhängig von der Dauer der Berührung.

Frage 19. Welchem Gesetz wird durch die elektrische Spannungsreihe Ausdruck gegeben?

Antwort. Durch die elektrische Spannungsreihe wird folgendem Gesetz Ausdruck gegeben, welches unter dem Namen das Gesetz der elektrischen Spannungsreihe bekannt ist (siehe Erkl. 47):

„Die elektromotorische Kraft, welche bei der Berührung zweier in der Spannungsreihe enthaltenen Körper auftritt, ist um so grösser, je weiter sie in dieser Spannungsreihe von einander entfernt sind; so zwar, dass wenn eine beliebige Anzahl der Spannungsreihe angehöriger Körper sich berühren, die dabei auftretende elektromotorische Kraft und die durch diese hervorgerufene elektrische Spannungsdifferenz (siehe Antwort auf Frage 16) der beiden äussersten Körper die gleiche ist, als wenn die dazwischenliegenden Körper gar nicht vorhanden wären, d. h. als wenn sich die beiden äussersten Körper direkt berührten“ (siehe Antw. auf folgende Frage und Erkl. 48).

Erkl. 47. Das in nebenstehender Antwort behandelte Gesetz der elektrischen Spannungsreihe wurde von *Volta* entdeckt.

Erkl. 48. Aus dem in nebenstehender Antwort enthaltenen Gesetz geht hervor, warum die in Frage 12 aufgeführte Reihe den Namen „Spannungsreihe“ erhalten hat.

Frage 20. Auf welche Weise kann man das in voriger Antwort definierte Gesetz der elektrischen Spannungsreihe experimentell darthun?

Antwort. Um das in voriger Antwort definierte Gesetz der Spannungsreihe experimentell darzuthun, stelle man den in Antwort auf Frage 9 unter 3). beschriebenen Versuch mit Platten aus verschiedenen Metallen an. Man wird dabei finden, dass die Divergenz der Goldblättchen des Elektroskops und somit auch die bei der Berührung der beiden zu dem Versuche angewandten Metalle auftretende elektromotorische Kraft um so grösser ist, je weiter die Metalle in der Spannungsreihe von einander entfernt sind.

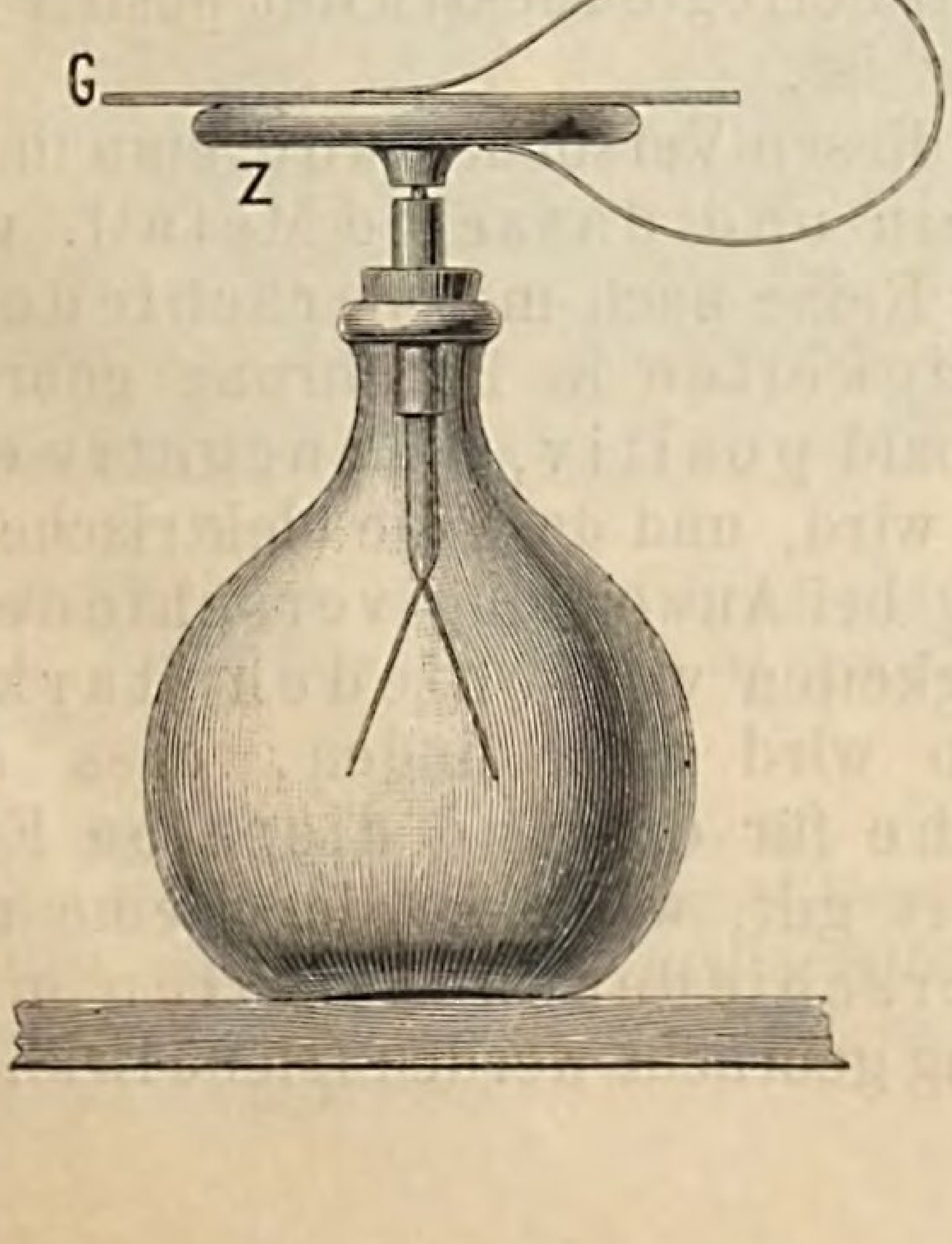
Um nun auch darzuthun, dass wie in

voriger Antw. gesagt, die Spannungsdifferenz der beiden äussersten Körper in einer beliebigen Reihe sich berührender, der Spannungsreihe angehörender Körper die gleiche ist, als wenn die dazwischenliegenden Körper gar nicht vorhanden wären, führe man den in Antwort auf Frage 9 unter 3). beschriebenen Versuch mehrmals aus und verwende bei jedem dieser Versuche einen Draht aus einem andern Metall, oder auch man benutze einen Draht, welcher aus einer beliebigen Anzahl aus beliebigen Metallen bestehender, in beliebiger Reihenfolge zusammengelöteter Drahtstückchen besteht. Man wird finden, dass bei jedem dieser Versuche die erhaltene Divergenz der Goldblättchen des Elektroskops genau die gleiche ist, dass also die Spannungsdifferenz der beiden äussersten Körper (d. h. der Metallplatten) die gleiche ist, ob nun die Berührung durch diese beiden Metalle direkt oder durch Vermittelung andrer Metalle (der verschiedenen Drähte) erfolgte.

C). Ueber die Erregung von Elektricität bei der Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten.

Frage 21. Auf welche Weise kann man darthun, dass bei der Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten Elektricität erregt wird?

Figur 9.



Antwort. Um darzuthun, dass bei der Berührung von Metallen mit Flüssigkeiten Elektricität erregt wird, kann man in folgender Weise verfahren:

Man schraube auf ein möglichst empfindliches Goldblattelektroskop, siehe Figur 9, eine Zinkplatte *Z* und lege dann eine etwas grössere gut getrocknete, dünne Glasplatte *G*, welche auf der einen Seite und am Rande gefirnist ist, mit der gefirnisten Seite auf die Platte *Z*. Hierauf benetze man die obere Fläche der Glasplatte *G* mit irgend einer leitenden Flüssigkeit, oder man lege ein mit derselben Flüssigkeit benetztes Scheibchen Fliesspapier auf die Glasplatte, wobei man darauf achte, dass der Rand der Glasplatte trocken bleibt. Nun berühre man mit dem einen Ende eines

isolierten Zinkdrahts *d* jene Flüssigkeit, mit dem andern Ende die Zinkplatte *Z* und hebe, nachdem der Draht *d* wieder entfernt worden, die Glasplatte *G* ab. An der nach dem Abheben der Glasplatte erfolgenden Divergenz der Goldblättchen erkennt man, dass das Elektroskop elektrisch geladen ist, dass somit bei der Berührung der Zinkplatte mit der Flüssigkeit durch Vermittelung des Zinkdrahts Elektricität erregt wurde (siehe Antwort auf Frage 9).

Frage 22. Auf welche Weise kann man darthun, dass die Flüssigkeiten nicht in die elektrische Spannungsreihe eingeordnet werden können?

Antwort. Um darzuthun, dass die Flüssigkeiten nicht in die elektrische Spannungsreihe eingeordnet werden können, führe man das in Antwort auf Frage 21 beschriebene Experiment unter Anwendung verschiedener Metalle und verschiedener Flüssigkeiten aus, und untersuche nach dem jedesmaligen Abheben der benetzten Glasplatte die dem Elektroskop mitgeteilte Elektricität in bezug auf ihre Art, d. h. ob dieselbe positiv oder negativ ist. Zu diesem Behufe nähere man nach dem jedesmaligen Abheben der benetzten Glasplatte dem Elektroskop eine mit Wolle oder mit Pelzwerk geriebene Harzstange oder eine mit Amalgam geriebene Glasstange. Aus der hierdurch bewirkten Vergrösserung oder Verkleinerung der Divergenz der Goldblättchen erkennt man nach Antwort auf Frage 10 und den Erkl. 23 und 26, ob die auf der Metallplatte erregte Elektricität positiv oder negativ ist.

Bei diesen Versuchen wird man finden, dass ein und dasselbe Metall, wenn es der Reihe nach mit verschiedenen Flüssigkeiten in Berührung gebracht wird, bald positiv, bald negativ elektrisch wird, und dass die elektrische Erregung bei Anwendung verschiedener Flüssigkeiten verschieden stark ist. Ebenso wird man finden, dass das gleiche für ein und dieselbe Flüssigkeit gilt, wenn sie der Reihe nach mit verschiedenen Metallen in Berührung gebracht werden (siehe Erkl. 49).

Erkl. 49. Aus nebenstehender Antwort ergibt sich, dass die Flüssigkeiten nicht dem Gesetz der Spannungsreihe folgen.

Erkl. 50. Bei der Berührung mit gewöhnlicher käuflicher Salpetersäure wird Kupfer positiv, während es mit verdünnter Salpetersäure [siehe nebenstehende Antwort unter 3).] keine elektrische Erregung zeigt.

So ergaben die Untersuchungen von *Buff* folgende Resultate:

1). bei der Berührung mit reinem Wasser oder mit Kalilauge werden die Metalle negativ elektrisch;

2). bei der Berührung mit verdünnter Schwefelsäure werden Zink, Eisen, Kupfer negativ, Gold, Platin positiv elektrisch;

3). bei der Berührung mit verdünnter Salpetersäure werden Eisen und Zink negativ, Platin und Gold positiv elektrisch (siehe Erkl. 50);

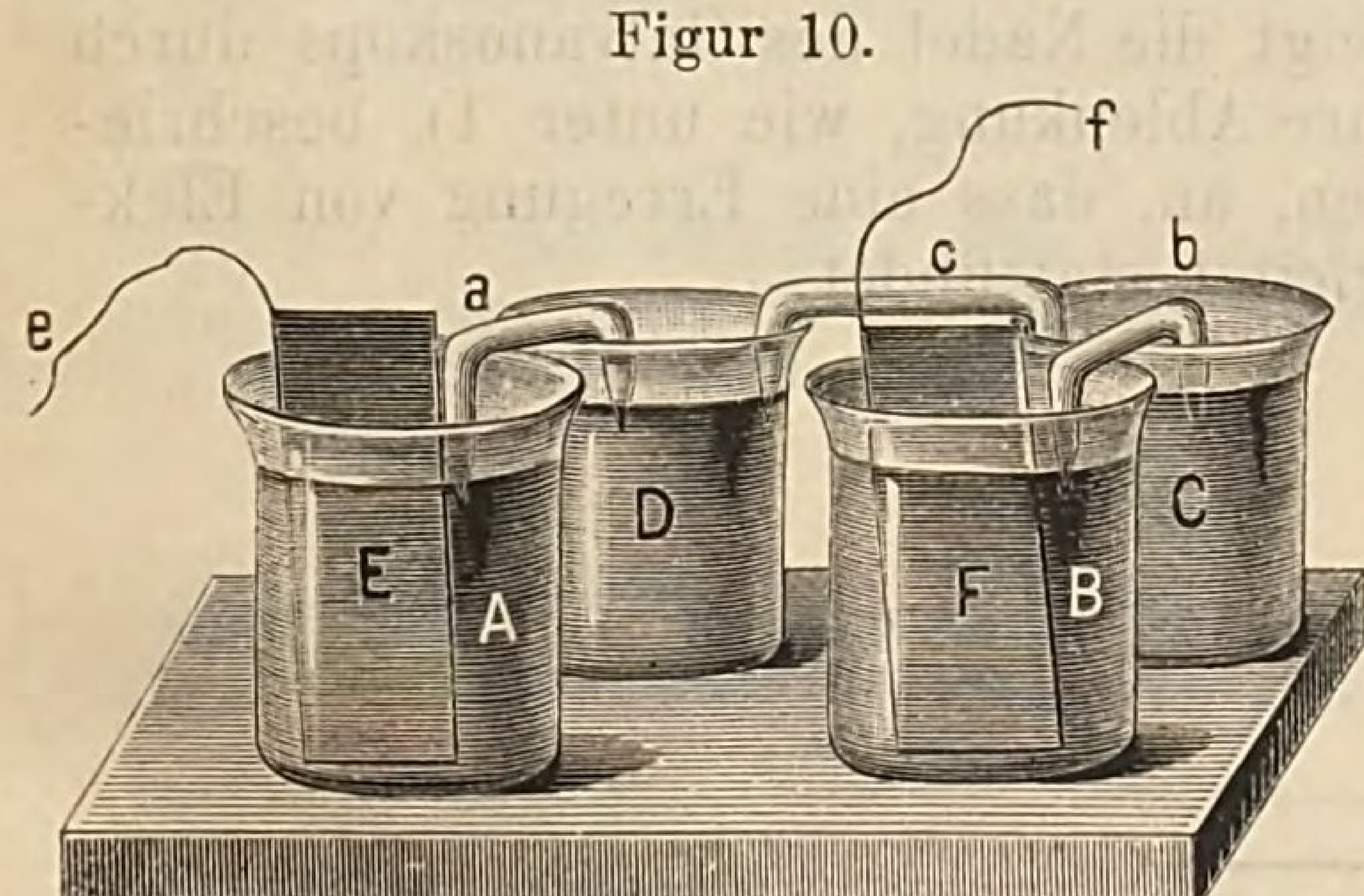
4). bei der Berührung mit konzentrierter Salpetersäure wird Zink sehr schwach negativ, Platin, Gold, Kupfer und Eisen positiv elektrisch;

5). bei der Berührung mit konzentrierter Zinkvitriollösung wird Zink stark negativ, Platin positiv elektrisch.

D). Ueber die Erregung von Elektricität bei der gegenseitigen Berührung verschiedenartiger Flüssigkeiten.

Frage 23. Auf welche Weise kann man darthun, dass bei der gegenseitigen Berührung verschiedenartiger (heterogener) Flüssigkeiten Elektricität erregt wird?

Figur 10.



Erkl. 51. Der in nebenstehender Antwort unter 1). beschriebene Versuch ist von *Fechner* angegeben.

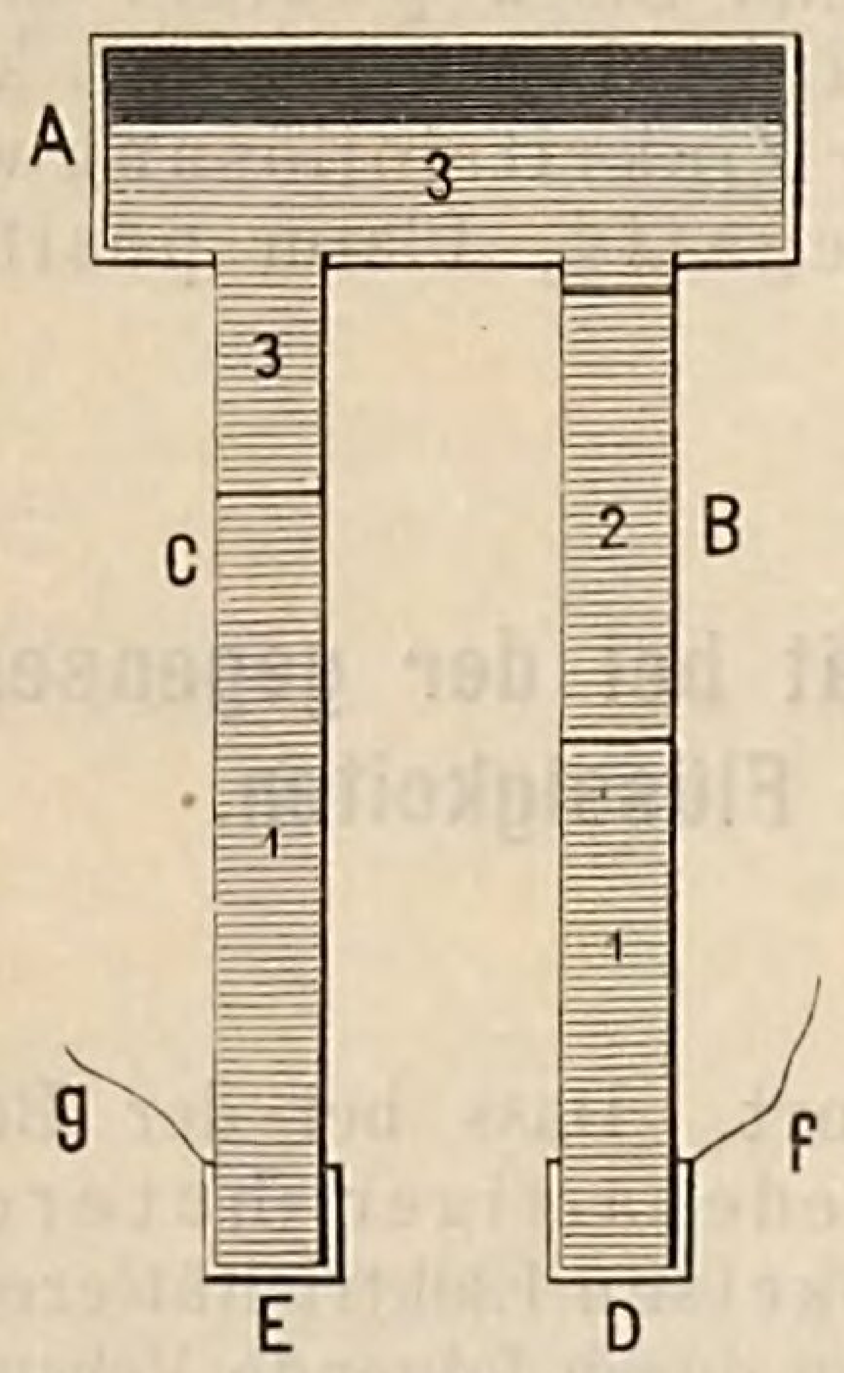
Erkl. 52. Bei der Ausführung des in nebenstehender Antwort unter 1). beschriebenen Versuchs hat man die beiden Platinplatten auf vollständige Gleichartigkeit zu prüfen, da durch

Antwort. Dass bei der Berührung verschiedenartiger (heterogener) Flüssigkeiten Elektricität erregt wird, kann man durch folgende Versuche darthun:

1). Von vier Gefässen *A*, *B*, *C*, *D*, siehe Figur 10, fülle man *A* und *B* mit einer und derselben Flüssigkeit, *C* mit einer zweiten und *D* mit einer dritten Flüssigkeit. Dann fülle man von drei ∩förmig gebogenen, an ihren Enden zu feinen (kapillaren) Oeffnungen ausgezogenen Glasröhren *a*, *b*, *c*, die beiden ersten *a* und *b* mit der gleichen Flüssigkeit, welche die Gefässe *A* und *B* enthalten, und senke sie mit ihren Enden in die Gefässe *A* und *D*, bezw. *B* und *C* in der Weise ein, dass ihre Enden unter die Oberflächen der in den vier Gefässen befindlichen Flüssigkeiten kommen. Dann fülle man die Glasröhre *c* mit einer der beiden in *C* und *D* enthaltenen Flüssigkeiten und tauche sie in gleicher Weise

zwei nicht völlig gleichartige Platinplatten, welche mit einer Flüssigkeit in Berührung gebracht werden, schon hinreichend Elektricität erregt wird, um die Galvanoskopnadel abzulenken (siehe Erkl. 53). Zur Ausführung dieser Prüfung stelle man die eine Platinplatte *E* in das Gefäss *A*, die andre Platte *F* in das Gefäss *B*, fülle eine der ∩förmigen Röhren, welche bei nebenstehendem Versuch angewendet werden, mit der Flüssigkeit, welche die Gefässe *A* und *B* enthalten und senke diese Röhre mit ihren Enden in die beiden Gefässe *A* und *B* ein, so dass die Flüssigkeiten dieser beiden Gefässe leitend verbunden sind. Alsdann verbinde man die Drähte *f* und *g* mit dem Galvanoskop, dessen Nadel nicht abgelenkt wird, wenn die Platinplatten, wie erforderlich, vollkommen gleichartig sind (siehe Erkl. 53).

Figur 11.



Erkl. 53. Ein Galvanoskop ist ein Instrument zum Nachweis elektrischer Ströme (siehe Erkl. 54). Ausführliches darüber findet man in *Mays* Lehrb. des Elektromagnetismus.

Erkl. 54. Ausführliches über den elektrischen Strom findet man in einem späteren Abschnitt.

Erkl. 55. Die in nebenstehender Antwort unter 2). erwähnten Metallkapseln werden vor Ausführung des beschriebenen Versuchs auf Gleichartigkeit untersucht (siehe Erkl. 52).

wie *a* und *b* in die beiden Gefässe *D* und *C* ein. Alsdann stelle man in die Gefässe *A* und *B* je eine Platinplatte *E* und *F*. Verbindet man nun die Platinplatten durch Drähte *f* und *g* mit einem Galvanoskop, so zeigt die Nadel des Galvanoskops durch Ablenkung an, dass bei der Berührung der verschiedenen Flüssigkeiten Elektricität erregt wird (siehe die Erkl. 51—53).

2). Ein anderes Experiment zum Nachweis der Elektricitätserregung bei der gegenseitigen Berührung heterogener Flüssigkeiten wird nach Angabe von *Wild* in folgender Weise ausgeführt:

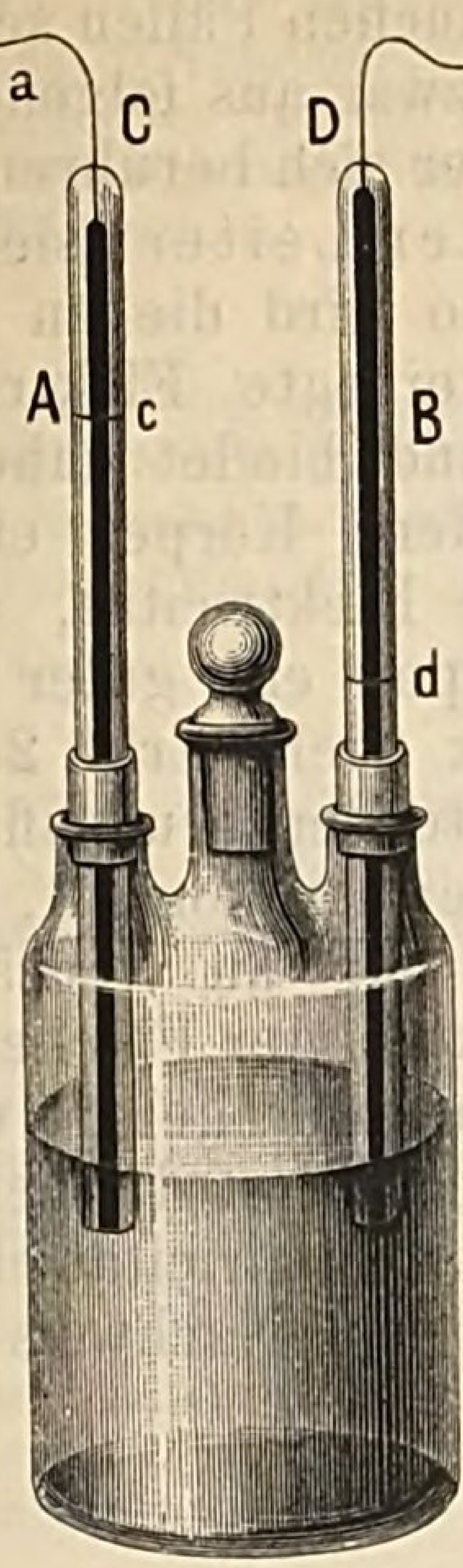
In Figur 11 stellt *A* ein Holzkästchen dar, in dessen Boden zwei Glasröhren *B* und *C* eingesetzt werden, welche an ihrem unteren Ende durch verkupferte Metallkapseln *D* und *E* verschlossen sind (siehe Erkl. 55). Man fülle die beiden Glasröhren *B* und *C* bis zu einer gewissen Höhe mit ein und derselben Flüssigkeit 1, giesse alsdann eine andre Flüssigkeit 2 in *B* bis dicht unter den Boden des Kästchens *A* und fülle schliesslich die Röhre *C* und das Kästchen *A* mit einer dritten Flüssigkeit 3, wobei man darauf achte, dass die Flüssigkeit 3 sich mit den Flüssigkeiten 1 und 2 nicht mische. Werden nun die beiden Metallkapseln durch die Drähte *f* und *g* mit einem Galvanoskop verbunden, so zeigt die Nadel des Galvanoskops durch ihre Ablenkung, wie unter 1). beschrieben, an, dass eine Erregung von Elektricität stattfindet.

E). Ueber die Erregung von Elektricität durch Berührung von Metallen mit Gasen.

Frage 24. Auf welche Weise kann man experimentell darthun, dass bei der Berührung von Metallen mit Gasen Elektricität erregt wird?

Antwort. Um nachzuweisen, dass bei der Berührung von Metallen mit Gasen

Figur 12.



Elektricität erregt wird, kann man nach Angabe *Groves* wie folgt verfahren:

A und *B*, siehe Figur 12, sind zwei Glasröhren, in welchen an dem oberen geschlossenen Ende *C* und *D* Drähte eingeschmolzen sind, mittels deren in jeder Röhre ein durch Platinieren mit Platinschwamm überzogenes Platinblech befestigt ist (siehe die Erkl. 56—58). Man setze diese beiden Röhren *A* und *B* mittels eingeriebener Glasverschlüsse in die seitlichen Hälse der dreihalsigen Woulfschen Glasflasche *G* ein, giesse in die Flasche *G* bis über die Hälfte Wasser, welchem etwas Schwefelsäure zugesetzt wurde und fülle dann die Röhren *A* und *B* durch Umdrehen der geschlossenen Flasche ebenfalls mit dem angesäuerten Wasser. Man beachte dabei, dass die Röhren *A* und *B* mit ihren Oeffnungen unter der Oberfläche der in der Flasche *G* befindlichen Flüssigkeit stehen, damit sie, nachdem sie durch Umdrehen gefüllt worden, beim Hinstellen der Flasche nicht auslaufen. Nun öffne man den mittleren Hals der Flasche und leite in die Röhre *A* mittels eines in die Flasche unter die Mündung von *A* geführten Glasröhrchens Sauerstoffgas, bis das Gas die Röhre *A* von *C* bis *c* erfüllt. In gleicher Weise leite man in die Röhre *B* Wasserstoffgas ein, und zwar etwa das doppelte Volum des Sauerstoffgases, so dass das Wasserstoffgas den Raum von *d* bis *D* einnimmt. Werden nunmehr die beiden Drähte *a* und *b* mit einem Galvanoskop verbunden (siehe Erkl. 53), so zeigt die Ablenkung der Nadel desselben an, dass bei der Berührung der verschiedenen Flüssigkeiten eine Elektricitätserregung stattfindet.

Erkl. 56. Um ein Platinblech zu platinieren, koche man es in Salpetersäure, tauche es, ohne es abzutrocknen, in Platinchloridlösung, verbinde es mit dem negativen Pol einer Groveschen Batterie von zwei Elementen, deren positiver Pol mit einer zweiten in die Lösung getauchten Platinplatte verbunden ist; der sich bildende Ueberzug ist Platinschwamm (siehe die Erkl. 57 und 58).

Erkl. 57. Ausführliches über die in Erklärung 56 genannten Operationen findet man in einem späteren Abschnitt.

Erkl. 58. Platinschwamm besitzt die Eigenschaft, Gase aufzunehmen, zu absorbieren.

F). Ueber die Erregung von Elektricität durch Berührung schlechter mit guten Leitern und schlechter Leiter unter sich.

Frage 25. Wird bei gegenseitiger Berührung beliebiger Körper Elektricität erregt?

Antwort. Wie schon in Antwort auf Frage 8 erwähnt wurde, ist es sehr wahrscheinlich, dass durch gegenseitige Berührung aller heterogener Körper Elek-

tricität erregt wird; der Nachweis ist jedoch in manchen Fällen schwer zu erbringen und zwar aus folgendem Grund:

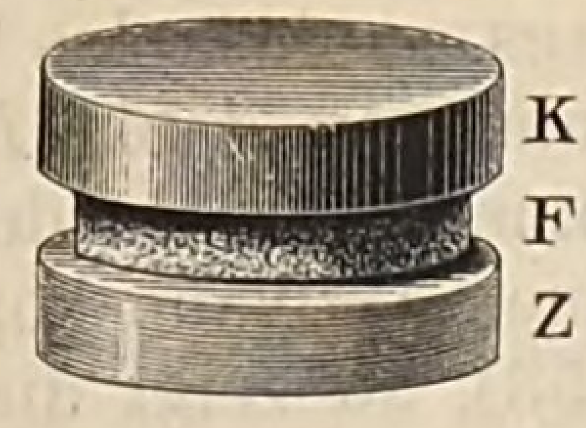
Ist einer der sich berührenden Körper ein schlechter Leiter (siehe die Erkl. 17 und 25), so wird die an den Berührungsstellen erregte Elektricität nicht fortgeleitet und bindet daher auch die auf dem andern Körper erregte entgegengesetzte Elektricität, selbst wenn letzterer Körper ein guter Leiter ist, durch Influenz (siehe Erkl. 26). Da nun absolut glatte Berührungsflächen nicht hergestellt werden können, sich somit zwei Körper nur an verhältnismässig wenigen Punkten der Flächen, mit welchen sie aneinander gelegt werden, berühren können, so ist die bei schlechten Leitern erregte Elektricität oft so gering, dass sie sich dem Nachweis entzieht.

3). Ueber den elektrischen Strom.

A). Ueber die Voltasche Säule.

Frage 26. Worin besteht die Einrichtung einer Voltaschen Säule und wie werden die Teile derselben genannt?

Figur 13.



Figur 14.



Antwort. Die Einrichtung einer Voltaschen Säule, siehe Figur 15, besteht in folgendem:

Auf einer runden polierten Zinkplatte *Z*, siehe Figur 13, liegt eine mit angesäuertem Wasser durchtränkte Tuchscheibe *F* und auf dieser Tuchscheibe eine runde polierte Kupferplatte *K*. Eine beliebige Anzahl solcher Elemente (siehe Erkl. 59) werden aufeinander geschichtet, wie dies in Figur 14 an zwei Elementen beispielsweise dargestellt ist, und werden auf einer Holzunterlage *A*, siehe Figur 15, mittels dreier Glasstäbe *B*, *B*, *B* gehalten, welche unten in der Unterlage *A*, oben in einem Holzbrettchen *C* befestigt sind. Um die Berührung der Zink- und Kupferplatten möglichst innig zu machen, können dieselben auf ihren Berührungsflächen zusammengelötet sein. Die beiden Endplatten, d. h. die oberste und die unterste Metallplatte einer solchen Säule werden „Polplatten“ oder kurzweg „Pole“ genannt; dieselben sind

Erkl. 59. Eine Kombination zweier durch eine Flüssigkeit (feuchte Tuchscheibe) getrennter Platten aus verschiedenen Metallen, wie sie in nebenstehender Antwort beschrieben und durch Figur 14 dargestellt ist, nennt man ein Voltasches Element.

Erkl. 60. Man bezeichnet die Pole auch mit dem Namen der Metalle und spricht daher bei der in nebenstehender Antwort beschriebenen Säule von dem „Zinkpol“ und „Kupferpol“.

Erkl. 61. Die in nebenstehender Antwort beschriebene Säule wurde von *Volta* im Jahre 1800 angegeben (siehe Erkl. 63).

Erkl. 62. Da es am gebräuchlichsten ist, zur Errichtung einer Voltaschen Säule die am leichtesten und billigsten zu beschaffenden Kupfer- und Zinkplatten zu wählen, so versteht man, wenn es nicht ausdrücklich anders bezeichnet ist, unter einer Voltaschen Säule eine solche, welche, wie die in nebenstehender Antwort beschriebene, Kupfer- und Zinkplatten enthält.

Erkl. 63. Statt der Kupfer- und Zinkplatten kann man auch zwei Platten aus beliebigen andern verschiedenen Metallen wählen. So bestand die erste von *Volta* gebaute Säule aus Gold- und Silbermünzen.

Figur 16.



F
Z
K

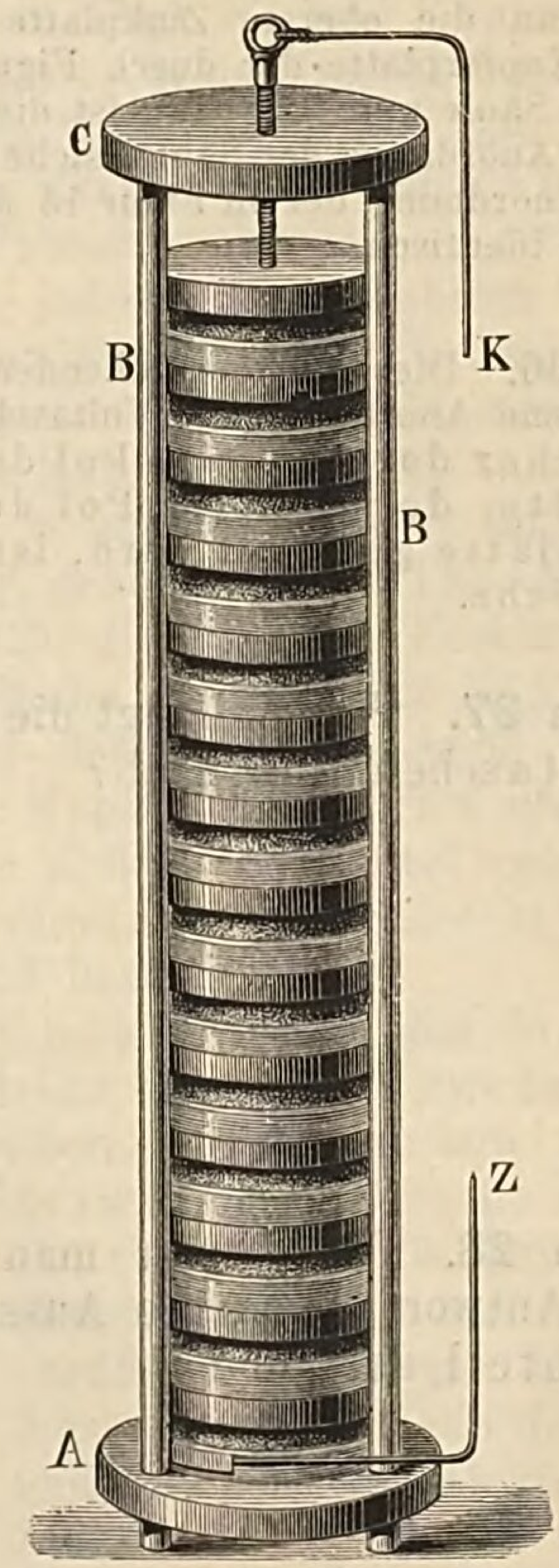
Erkl. 64. Eine andre Art des Aufbaus der Voltaschen Säule, welche in betreff der Bezeichnung der Pole (siehe nebenstehende Antwort) zu Verwirrung Anlass gegeben hat, besteht in folgendem:

Auf einer Kupferplatte K, siehe Figur 16, liegt eine Zinkplatte Z und auf dieser eine feuchte Tuchscheibe F. In dieser Ordnung ist nun die Voltasche Säule aufgebaut, wie dies aus Figur 17 ersichtlich ist.

Prüft man bei dieser Art des Aufbaus der Säule die auf den Polen erregte Elektricität in der in nebenstehender Antwort beschriebenen Weise, so findet man, dass der Zinkpol hierbei positiv elektrisch, der Kupferpol negativ elektrisch ist (siehe die Erkl. 60 u. 65).

mit Metalldrähten K und Z verbunden. Derjenige Pol, welcher aus einer Kupferplatte besteht, ist positiv elektrisch, er ist der positive Pol; derjenige Pol, welcher aus einer Zinkplatte besteht,

Figur 15.



ist negativ elektrisch, er ist der negative Pol (siehe Erkl. 60), wovon man sich dadurch überzeugen kann, dass man einen der beiden Pole an den Knopf eines Elektroskops, siehe Figur 5, anlegt und die hierdurch den Goldblättchen des Elektroskops mitgeteilte Elektricität in der in Antwort auf Frage 10 beschriebenen Weise untersucht (siehe die Erkl. 61—65).

Erkl. 65. Will man aus der in Erkl. 64 beschriebenen und durch die Figur 17 dargestellten Art der Voltaschen Säule, bei welcher der Zinkpol der positive, der Kupferpol der negative ist, eine solche Voltasche Säule machen, wie sie in nebenstehender Antwort beschrieben und durch die Figur 15 dargestellt, bei welcher also der Zinkpol der negative, der Kupferpol der positive ist, so nehme man die oberste Zinkplatte und die unterste Kupferplatte der durch Figur 17 dargestellten Säule weg. Alsdann ist die nunmehr erhaltene Anordnung der Säule, siehe Figur 18, mit der Anordnung der in Figur 15 dargestellten Säule identisch.

Erkl. 66. Die in nebenstehender Antwort beschriebene Anordnung der Voltaschen Säule, bei welcher der negative Pol durch die Zinkplatte, der positive Pol durch die Kupferplatte gebildet wird, ist die gebräuchliche.

Figur 17.



Figur 18.



Frage 27. Wovon hängt die Stärke der Voltaschen Säule ab?

Antwort. Die Stärke der Voltaschen Säule hängt ab von der Anzahl der Elemente, aus welchen sie aufgebaut ist, indem die Spannungsdifferenz an den beiden Polen der Säule um so grösser wird, aus je mehr Elementen die Säule gebildet ist.

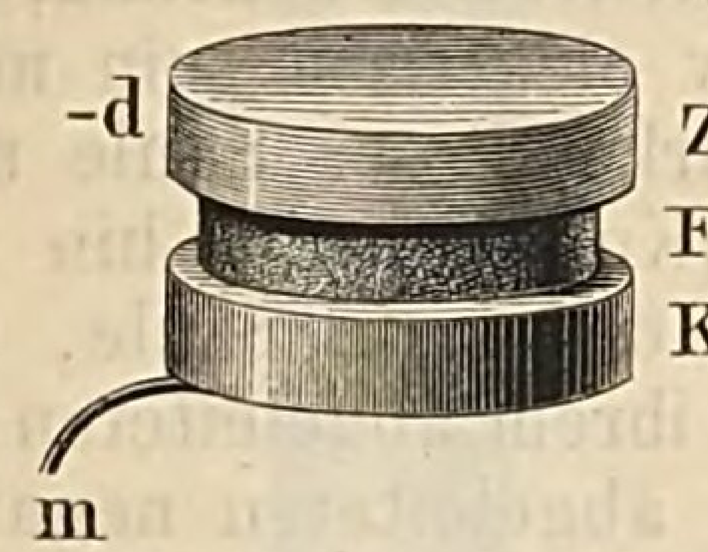
Frage 28. Wie kann man die in voriger Antwort gemachte Aussage experimentell darthun?

Antwort. Um darzuthun, dass die Stärke der Voltaschen Säule mit der Zahl der Elemente wächst, braucht man nur nachzuweisen, dass die elektrische Spannung an den Polen bei der Vermehrung der Elemente zunimmt. Man setze demnach eine Voltasche Säule aus beispielsweise 10 Elementen zusammen und bringe den einen der beiden Pole mit dem Knopf des Elektroskops, siehe Figur 5, in Berührung. Alsdann wiederhole man nach jedesmaliger vorheriger Wiederentladung des benutzten Elektroskops diesen Versuch mit einer aus 20, 25 etc. Elementen aufgebauten Voltaschen Säule und beobachte bei jedem dieser Versuche die Grösse der Divergenz der Goldblättchen des Elektroskops, so findet man, dass die Divergenz um so grösser ist, je grösser die Anzahl der zu der geprüften Voltaschen Säule vereinigten Elemente ist, dass somit die

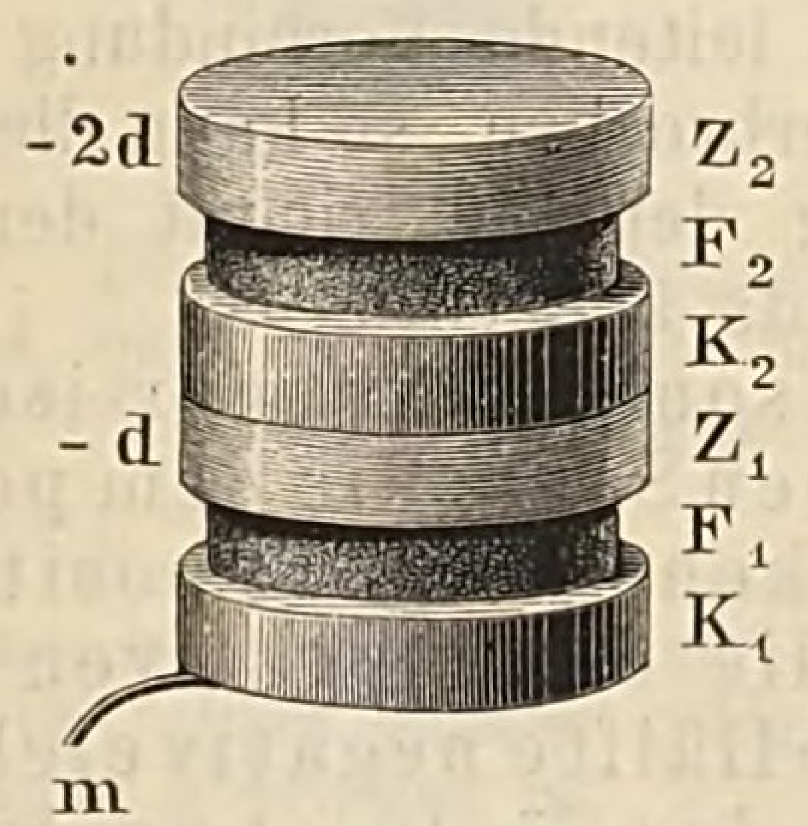
Stärke der Voltaschen Säule mit der Anzahl der Elemente zugenommen hat.

Frage 29. Welcher elektrische Vorgang findet in der Voltaschen Säule statt?

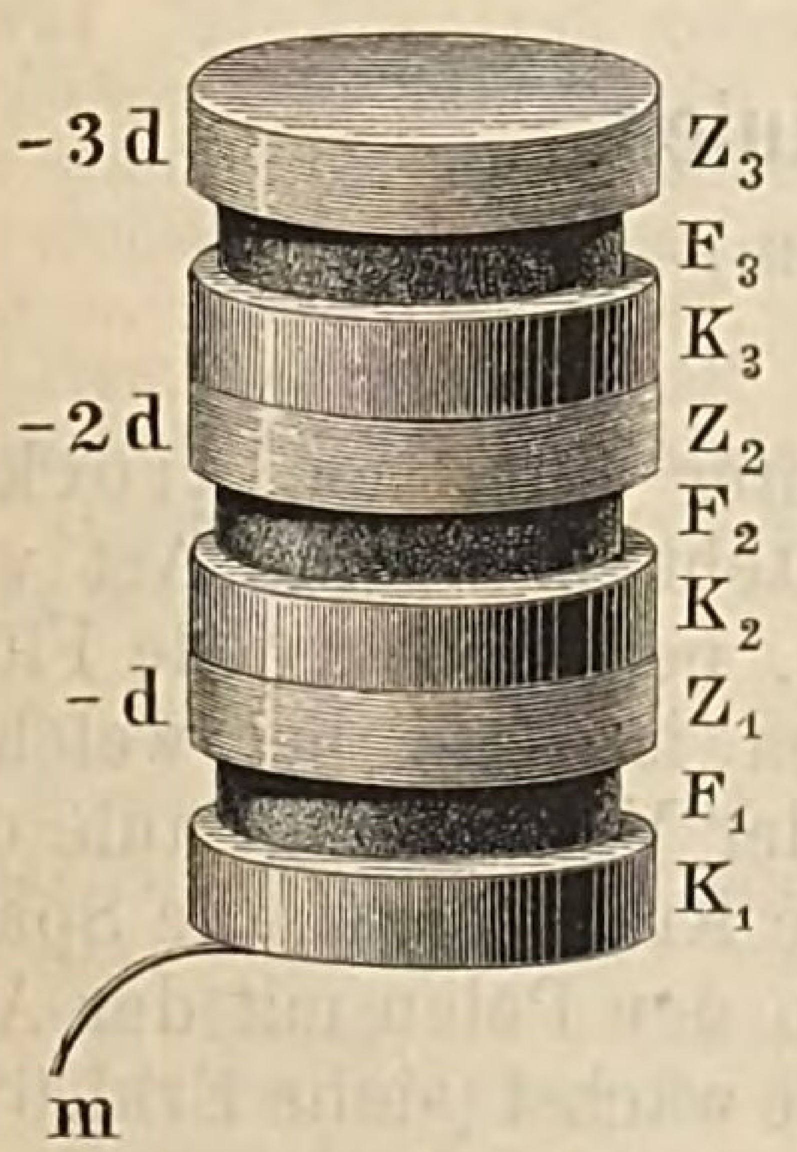
Figur 19.



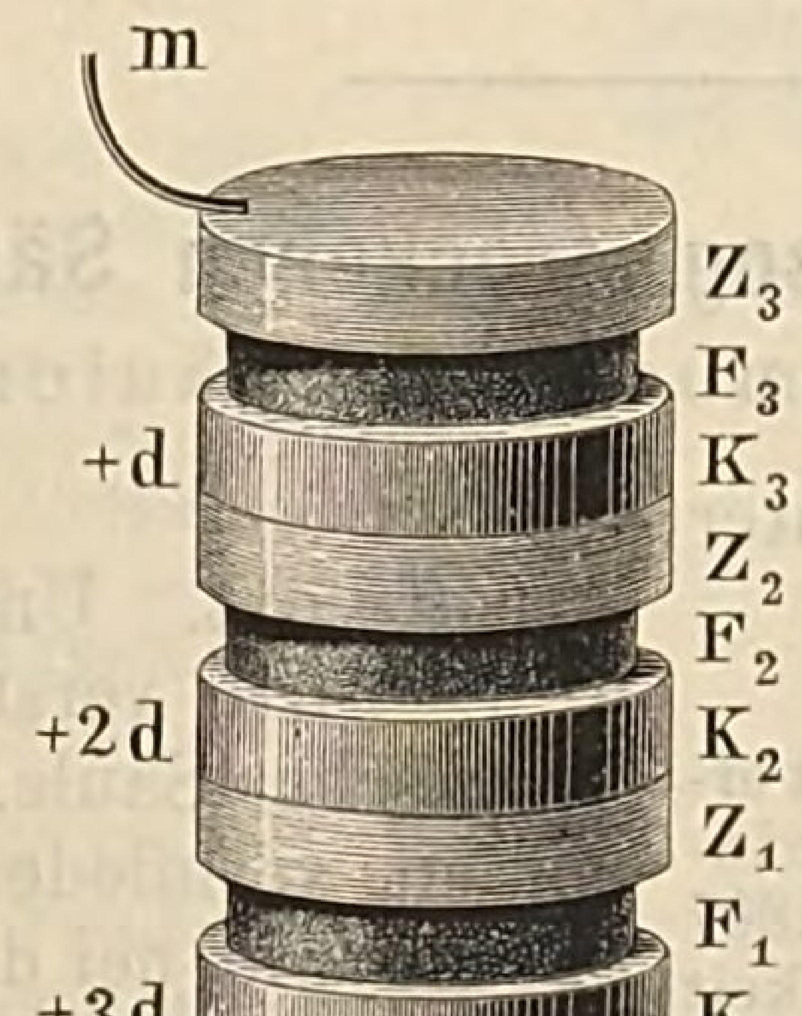
Figur 20.



Figur 21.



Figur 22.



Antwort. Der elektrische Vorgang in der Voltaschen Säule ist folgender:

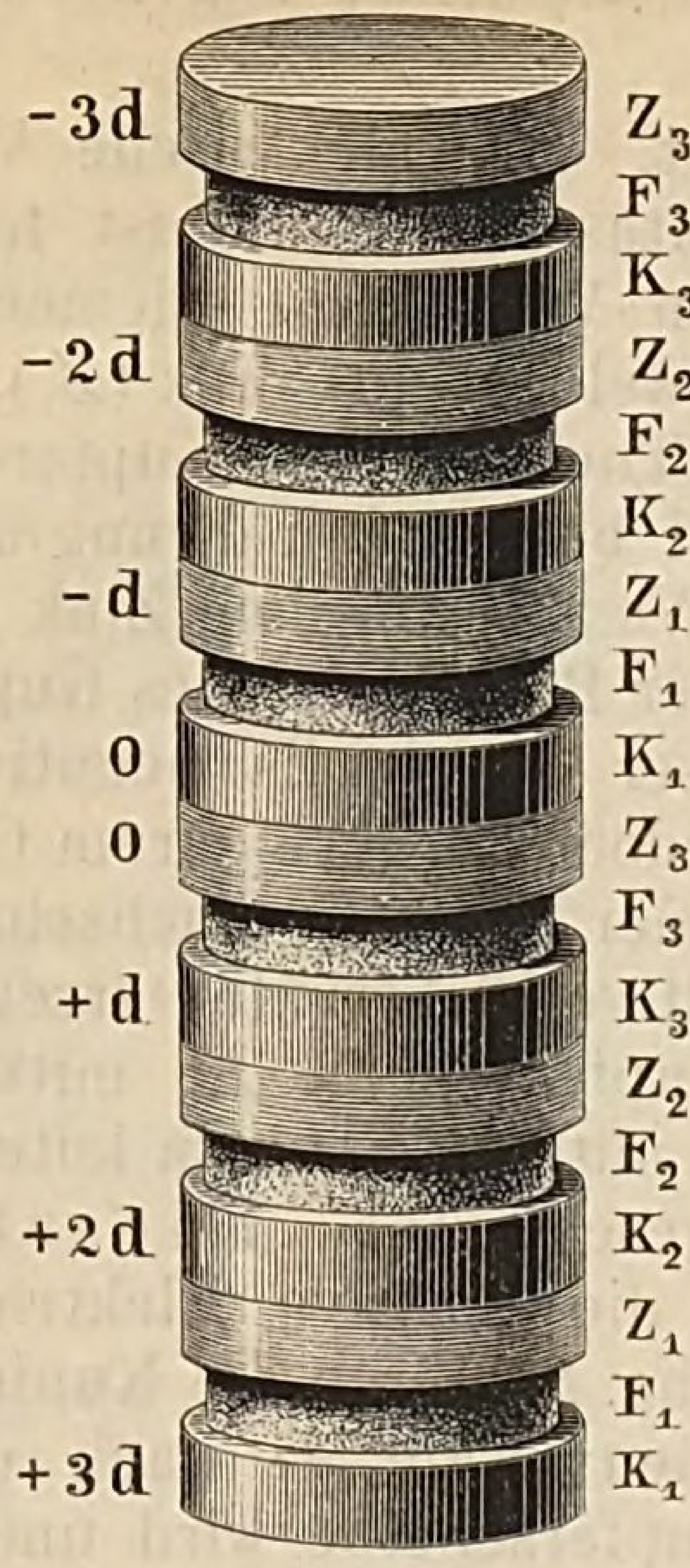
In einem Voltaschen Element, siehe Figur 19, welches aus Zink (Z_1), Wasser (feuchtem Tuch F_1) und Kupfer (K_1) besteht, wird bei der Berührung des Zinks mit dem Wasser auf dem Zink negative und bei der Berührung des Kupfers mit dem Wasser gleichfalls negative Elektricität, jedoch in geringerem Grade erregt. Auf der feuchten Tuchscheibe wird somit positive Elektricität erregt. Wird nun die Kupferscheibe K_1 mittels eines Drahts m mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt, so „fliesst“ (siehe Erkl. 42) die positive Elektricität der Tuchscheibe F_1 durch die Kupferscheibe K_1 und den Draht m nach der Erde ab; die Kupferscheibe wird unelektrisch und die Zinkplatte besitzt eine gewisse elektrische Ladung, welche in der Figur mit $-d$ bezeichnet ist.

Setzt man nun auf das in Figur 19 dargestellte Element ein zweites gleiches in derselben Ordnung, so ladet sich auch in diesem zweiten Element die Zinkplatte Z_2, siehe Figur 20, mit negativer Elektricität, die auf der Tuchscheibe F_2 erregte Elektricität fliesst ebenfalls nach der Erde ab und die negative Elektricität der Zinkplatte Z_1 fliesst nach der Zinkplatte Z_2, so dass diese nun die Ladung $-2d$ besitzt.

Wird auf diese beiden, durch Figur 20 dargestellten Elemente ein drittes Element gesetzt, siehe Figur 21, so fliesst wiederum die auf der Tuchscheibe F_3 erregte positive Elektricität nach der Erde ab und die Zinkplatte Z_3 erhält in der erörterten Weise die Ladung $-3d$.

Eine solche, am positiven (Kupfer-) Pol abgeleitete und am negativen (Zink-) Pol isolierte Säule erweist sich also als negativ elektrisch, und zwar nimmt die Stärke dieser Säule nach dem negativen (Zink-) Pol hin zu.

Figur 23.



Erkl. 67. Die graphische Darstellung des in nebenstehender Antwort erwähnten Vorgangs in der Voltaschen Säule und die mathematische Definition der elektrischen Grössenverhältnisse derselben findet man im mathematischen Teil dieses Buches.

Wird nun eine zweite Säule, siehe Figur 22, in der gleichen Weise wie die in Figur 21 dargestellte errichtet, mit dem einzigen Unterschied, dass in dieser zweiten Säule das Zinkende (der negative Pol) durch einen Draht *m* zur Erde abgeleitet wird, während das Kupferende (der positive Pol) isoliert ist, so zeigt die soeben angestellte Betrachtung, dass diese Säule positiv elektrisch sein muss, und dass die Stärke dieser Säule nach dem positiven (Kupfer-) Pol hin zunimmt.

Wird nun die erste Säule, siehe Figur 21, mit ihrem abgeleiteten positiven Pol auf den abgeleiteten negativen Pol der zweiten Säule, siehe Figur 23, gesetzt, so erhält man eine einzige Säule, siehe Figur 23, deren Mitte unelektrisch ist. Wird die leitende Verbindung mit der Erde unterbrochen, so kann dies an der Verteilung der Elektricität der ganzen Säule nichts ändern.

Es ist somit bei jeder isolierten Voltaschen Säule die dem positiven Pol zugekehrte Hälfte positiv elektrisch, die dem negativen Pol zugekehrte Hälfte negativ elektrisch, die Mitte der Säule ist unelektrisch und die Stärke der Säule nimmt auf beiden Hälften nach den (isolierten) Polen hin zu (siehe Erkl. 67).

B). Ueber die sog. trockenen Säulen.

(Behrens-Zambonische Säulen.)

Frage 30. Was versteht man unter einer sog. trockenen Säule?

Erkl. 68. Die in nebenstehender Antwort erwähnten sog. trockenen Säulen sind nur scheinbar trockene Säulen. Schon im Jahre 1807 wies *Ermann* nach, dass ihre Wirksamkeit durch eine, wenn auch geringe Feuchtigkeit bedingt ist (siehe Antwort auf Frage 32).

Antwort. Unter einer sog. trockenen Säule versteht man eine Art von Voltascher Säule, bei welcher jede Flüssigkeit vermieden ist und bei welcher ebenso wie bei der Voltaschen Säule die elektromotorische Kraft, bezw. die Spannungsdifferenz an den Polen mit der Anzahl der Elemente wächst (siehe Erkl. 68).

Frage 31. Worin besteht die Einrichtung einer trockenen Säule, wie dieselbe jetzt meist angefertigt wird?

Antwort. Die Einrichtung einer trockenen Säule, wie sie jetzt meist angefertigt wird, besteht in folgendem (siehe Erkl. 69):

Figur 24.



Erkl. 69. Die in nebenstehender Antwort beschriebene und in Figur 24 dargestellte Säule wurde 1815 von *Jäger* angegeben.

Erkl. 70. Das Goldpapier, wie es im Handel vorkommt, ist ein Papier, welches auf der einen Seite mit einer dünnen goldglänzenden Kupferlegierung überzogen ist.

Erkl. 71. Das Silberpapier, wie es im Handel vorkommt, ist ein auf der einen Seite mit einer dünnen silberglänzenden Zinnlegierung überzogenes Papier.

Erkl. 72. Die erste trockene Säule wurde von *Behrens* im Jahre 1806 konstruiert. Derselbe tränkte Goldpapierscheiben mit Salzwasser, trocknete sie, legte sie so auf Kupferscheiben, dass sie dieselben mit der Metallseite berührten, und legte darauf Zinkscheiben. 80 derartige Elemente schichtete er zu einer Säule auf. Diese Säule zeigte 3 Monate lang elektrische Erregung.

Erkl. 73. *Zamboni* rieb im Jahre 1815 mittels eines Korkstopfens die Papierseite eines Bogens Silberpapier mit feingepulvertem Braunstein ein, oder auch, er bestrich die Papierseite mit Honig, in welchen der Braunstein eingerührt war und liess die Masse eintrocknen. Aus solchem in der einen oder der andern Weise präparierten Silberpapier schlug er Scheibchen aus und bildete damit eine trockene Säule. *Zamboni* baute solche Säulen, welche aus bis zu 10000 Elementen bestanden.

Erkl. 74. Die trockenen Säulen werden auch Zambonische Säulen genannt.

Ein Bogen unechten Goldpapiers und ein Bogen unechten Silberpapiers werden mit Kleister auf den Papierseiten zusammengeklebt, so dass die eine Aussenseite des zusammengeklebten Bogens eine Belegung von Kupfer, die andre Aussenseite eine Belegung von Zinn hat (siehe die Erkl. 70 und 71). Aus solchen zusammengeklebten Bogen werden mittels einer Stanze oder eines Durchschlags runde gleichgrosse Scheibchen herausgeschlagen, deren Grösse man zwischen $^1/_2$ bis 5 Centimeter Durchmesser wählt, und in eine dem Durchmesser der Scheibchen entsprechende gut gefirniste Glasröhre *G*, siehe Figur 24, an deren unterem Ende eine Messingkapsel *M* festgekittet ist, in der Weise eingefüllt, dass die Zinnbeläge alle nach der einen Seite, die Kupferbeläge alle nach der andern Seite gekehrt sind. Nachdem die Röhre *G* in dieser Weise mit den Scheibchen angefüllt wurde, wird die obere Oeffnung der Röhre ebenfalls durch eine Messingkapsel *N* geschlossen. Dabei müssen die Scheibchen beim Aufsetzen der oberen Messingkapsel möglichst stark zusammengepresst werden, damit die Berührung der Scheibchen eine recht innige wird (siehe die Erkl. 72—74); die beiden Messingkapseln bilden die Pole der Säule (siehe Antwort auf Frage 26).

Frage 32. Wie kann man nachweisen, dass der Vorgang in einer sog. trockenen Säule derselbe ist, wie in der Voltaschen Säule?

Erkl. 75. Chlorcalcium hat in ganz besonderem Grade die Eigenschaft, Wasser aufzunehmen. Wird demnach ein Chlorcalcium enthaltendes Gefäss luftdicht verschlossen, so nimmt das Chlorcalcium die in dem Gefäss enthaltene Feuchtigkeit auf. Weil nun in trockener Luft die Verdunstung von Wasser (Feuchtigkeit) befördert wird, so wird einem in der Flasche gleichzeitig mit dem Chlorcalcium enthaltenen feuchten Körper mit der Zeit die Feuchtigkeit entzogen. Ein solches Gefäss, in welchem man eine derartige Austrocknung vornimmt, heisst ein Exsiccator (vom latein. exsiccare = austrocknen) (siehe Erkl. 76).

Erkl. 76. An Stelle des Chlorcalciums (siehe Erkl. 75) kann man z. B. auch Schwefelsäure, frischgebrannten Kalk oder entwässerten Kupfervitriol anwenden.

Erkl. 77. Papier hat ebenfalls die Eigenschaft, Feuchtigkeit aufzunehmen (siehe die Erkl. 75 und 76). Es enthält daher in gewöhnlichem Zustand stets etwas Feuchtigkeit; wird es aber, wie in nebenstehender Antwort beschrieben, durch Chlorcalcium künstlich ganz ausgetrocknet, so wird es, sobald es dem austrocknenden Einfluss des Chlorcalciums entzogen wird, wieder Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen (siehe Erkl. 78).

Erkl. 78. In bezug auf vorstehende Erklärung sei bemerkt, dass die Luft stets Feuchtigkeit enthält, dass demnach jeder Körper, der wie das Papier die Eigenschaft besitzt, Feuchtigkeit anzuziehen, an der Luft stets feucht werden muss. Die Feuchtigkeit, welche ein solcher Körper aufnimmt, ist jedoch häufig nicht ohne weiteres wahrnehmbar.

Antwort. Man bringe in eine Flasche, welche etwas Chlorcalcium enthält, eine sog. trockene Säule und verschliesse die Flasche luftdicht, so wird nach einiger Zeit die Säule nicht mehr elektrisch sein, die Säule wird, wie man sagt, „ihre Wirksamkeit verlieren“, „die Säule wird unwirksam“ (siehe die Erkl. 75 und 76). Wird die Säule wieder einige Zeit der Einwirkung der atmosphärischen Luft überlassen, so wird sie wieder elektrisch (siehe Erkl. 77). Daraus ergibt sich, dass die Wirksamkeit der fälschlich sog. trockenen Säule durch die Anwesenheit von Feuchtigkeit bedingt ist, dass somit der Vorgang in derselben der gleiche ist wie in der Voltaschen Säule.

Frage 33. Welche besonderen elektrischen Eigenschaften zeigt die sog. trockene Säule?

Erkl. 79. Die in nebenstehender Antwort unter 1). bezeichnete Eigenschaft der trockenen Säule, sehr lange eine wenn auch geringe elektrische Spannung zu halten, wird zur Konstruktion der sehr empfindlichen Säulenelektroskope und Säulenelektrometer (siehe die Erkl. 19 und 87) benutzt. Betreffs ihrer Verwendung zur Konstruktion des sog. elektrischen Perpetuum mobile siehe folgende Antwort.

Erkl. 80. Die in nebenstehender Antwort unter 2). bezeichnete Eigenschaft der trockenen Säule, nach jeder Entladung ihrer Pole,

Antwort. Die sog. trockene Säule zeigt folgende besonderen Eigenschaften:

1). sie bleibt ganz ausserordentlich lange Zeit wirksam (siehe Erkl. 79);

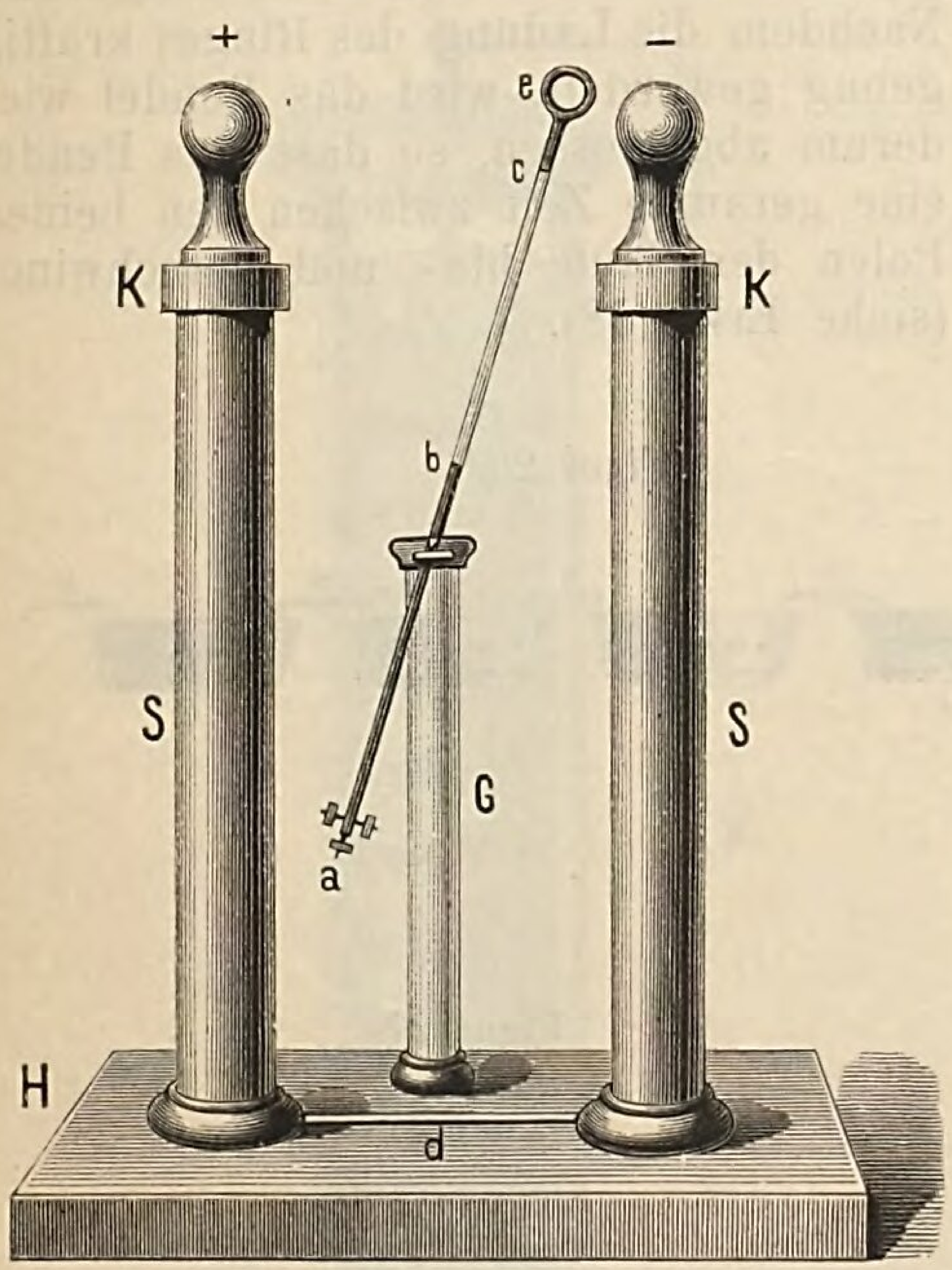
2). wird sie durch Ableitung eines oder beider Pole entladen, so währt es lange, bis sie sich wiederum ladet (siehe Erkl. 80);

3). sie zeigt hauptsächlich die Spannungserscheinungen (siehe Antwort auf Frage 15), wogegen sie einen nur geringen elektrischen Strom (siehe Antwort auf Frage 36) liefert.

die man durch Ableitung derselben bewirkt, sich nur sehr langsam wieder zu laden, hat ihren Grund darin, dass einerseits die in dem Papier enthaltene Feuchtigkeit das Papier, welches an und für sich ein schlechter Leiter ist (siehe Erkl. 17), besser leitend macht, und dass andrerseits die Feuchtigkeit die elektromotorische Erregung der Säule bedingt. Das Papier leitet also um so schlechter, je trockener es ist; die Ladungszeit wird demnach um so länger, je trockener das Papier wird. Man kann dies auf folgende Weise zeigen: Man berühre mit dem einen Pol einer trockenen Säule den Knopf eines Elektroskops und bemerke die Zeit, welche von der Entladung an erforderlich ist, bis die Säule bei der Wiederberührung des Elektroskops den gleichen Ausschlag der Goldblättchen hervorbringt. Alsdann trockne man die Säule etwas, so wird man finden, dass die Säule nunmehr eine längere Zeit braucht, um nach der Entladung dieselbe Stärke zu erlangen (siehe Antwort auf Frage 27).

Frage 34. Worin besteht die Einrichtung des sog. elektrischen Perpetuum mobile?

Figur 25.



Erkl. 81. Das in nebenstehender Antwort beschriebene sog. elektrische Perpetuum mobile wurde von *Zamboni* im Jahre 1815 angegeben.

Erkl. 82. „Perpetuum mobile" (lateinisch) heisst „ewig beweglich" (siehe Erkl. 83).

Antwort. Die Einrichtung des sog. elektrischen Perpetuum mobile (s. die Erkl. 81—88) besteht in folgendem: Auf einem Holzbrettchen *H*, siehe Figur 25, stehen zwei trockene Säulen *SS*, welche in der in Antwort auf Frage 31 beschriebenen Weise je 2000 aus Gold- und Silberpapier hergestellte Scheibchen (siehe Erkl. 86) enthalten. In der einen Säule sind die Scheibchen so geschichtet, dass die Goldseite (Kupfer) nach oben, die Silberseite (Zinn) nach unten zeigt; in der zweiten Säule zeigen umgekehrt die Goldseiten nach unten, die Silberseiten nach oben. Da nun der Kupferpol der positive, der Zinnpol der negative ist (siehe Antwort auf Frage 26), so bildet das obere Ende der einen Säule den positiven (+), das obere Ende der andern Säule den negativen (—) Pol. Die unteren Pole der beiden Säulen sind durch einen Metalldraht *d* leitend verbunden, so dass die beiden Säulen zusammen eine einzige Säule von 4000 Scheibchen bilden. Die oberen Messingkapseln *KK* endigen in runde polierte Knöpfe. In der Mitte zwischen diesen beiden Säulen steht ein Säulchen *G*, auf welchem ein möglichst leichtes Pendel auf einer Schneide gleich einem Wagebalken aufgehängt ist; das Pendel ist von *a* bis *b* von Metall, von *b* bis *c*

Erkl. 83. Ein wirkliches „Perpetuum mobile“ (siehe Erkl. 82) ist ein Ding der Unmöglichkeit, weil es dem Prinzip von der Erhaltung der Energie widersprechen würde (siehe Erkl. 84). Es muss daher die in nebenstehender Antwort beschriebene langandauernde Bewegung (siehe Erkl. 85) endlich einmal aufhören.

Erkl. 84. Ausführliches über das in voriger Erklärung genannte Prinzip von der Erhaltung der Energie findet man in *Kleyer*s Lehrbuch der Mechanik.

Erkl. 85. Ein solches Zambonisches Perpetuum mobile, wie es in nebenstehender Antwort beschrieben und in Figur 25 abgebildet ist, befindet sich nach *Müller-Pouillet* im physikalischen Kabinett der Universität zu Innsbruck seit dem Jahre 1823 in Bewegung (siehe die Erkl. 83 und 87).

Erkl. 86. Wenn man, wie in Antwort auf Frage 31 beschrieben, die Gold- und Silberpapierbogen zuerst zusammenklebt und dann ausstanzt, so können die Kupfer- und Zinnbelegungen am Rande zusammengepresst werden, wodurch eine die Wirksamkeit der Säule beeinträchtigende Berührung der beiden Metalle eines solchen zusammengeklebten Scheibchens eintritt. Um dies sicher zu verhüten, schlage man aus den nicht zusammengeklebten Bogen von der Papierseite aus die Scheibchen heraus und klebe sie alsdann erst zusammen, oder auch, man schichte die Gold- und Silberpapierscheibchen, ohne sie zusammenzukleben, in der in Antwort auf Frage 31 bezeichneten Weise zur Säule auf.

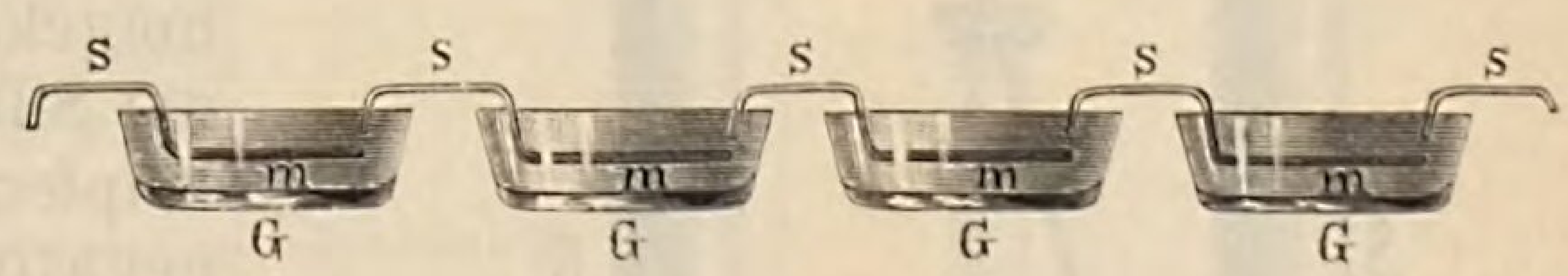
Erkl. 87. Wegen der ausserordentlich lange anhaltenden Wirksamkeit der trockenen Säule (siehe Erkl. 85) bemühte man sich, dieselbe in der Art des in nebenstehender Antwort beschriebenen Perpetuum mobile zur Konstruktion von lange gehenden Uhren zu verwenden. Diese Versuche scheiterten jedoch sämtlich, hauptsächlich weil die Spannung der trockenen Säule von dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft abhängt (siehe Erkl. 80), so dass es unmöglich ist, eine gleichmässige Bewegung zu erzielen.

Erkl. 88. *Zamboni* und *Ermann* gaben noch eine andre Säule an, welche nur ein Metall und nur eine Flüssigkeit enthält und deren Einrichtung in folgendem besteht:

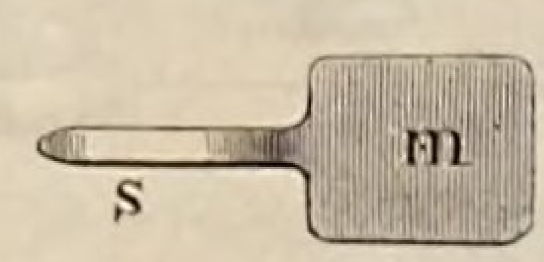
In einer, mit einer Flüssigkeit gefüllten Schale *G*, siehe Figur 26, liegt ein Metallblech *m*, siehe Figur 27, welches eine dünne Spitze *s* besitzt, mit welcher es in die Flüssigkeit einer zweiten Schale eintaucht. Wird eine beliebige Anzahl solcher Schalen in dieser Weise durch solche Metallbleche verbunden, so zeigen die beiden äussersten Schalen eine elektrische Ladung, welche um so grösser ist, aus je mehr Elementen die Säule gebildet wurde. Wurde

von Glas und trägt oben einen kleinen Metallring *e*. Die Aufhängung geschieht in der Weise (nahe unterhalb des Schwerpunkts des Pendels), dass dasselbe durch eine möglichst geringe Kraft schon bewegt werden kann. Bei *a* sind Schräubchen angebracht, mittels welcher die Lage des Schwerpunkts reguliert werden kann. Ist das Pendel richtig aufgehängt, so wird es, wenn es auf die senkrechte Stellung gebracht wird, langsam nach dem einen Polknopf sich senken. Durch die Berührung mit dem Pol nimmt es einen Teil der Elektricität, mit welcher dieser Pol geladen ist, auf, und wird nun, da gleichnamige Elektricitäten sich abstossen, sich von diesem Pol entfernen und nach dem mit der entgegengesetzten Elektricität geladenen Pol hinübersinken. Durch Berührung mit dem ungleichnamig geladenen Pol wird die Elektricität des Ringes des Pendels neutralisiert und demselben die entgegengesetzte Elektricität des Pols mitgeteilt. Nachdem die Ladung des Ringes kräftig genug geworden, wird das Pendel wiederum abgestossen, so dass das Pendel eine geraume Zeit zwischen den beiden Polen der Säule hin- und herschwingt (siehe Erkl. 88).

Figur 26.



Figur 27.



Stanniol (dünnes Zinkblech) verwendet, so war die Spitze *s* nach *Zamboni* negativ, nach *Ermann* positiv elektrisch. Die Wirksamkeit dieser Säule wird erklärt durch die ungleiche Beschaffenheit (ungleiche Oxydation) der Spitze und der Fläche.

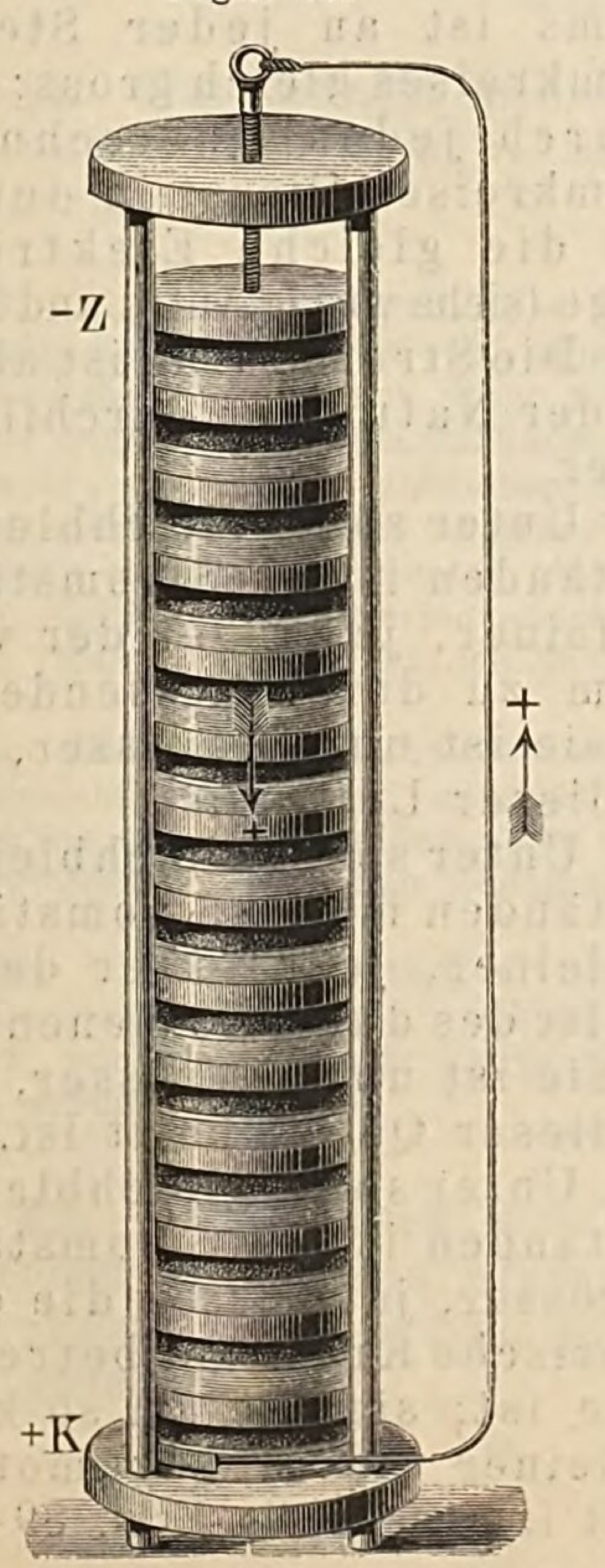
C). Ueber den elektrischen Vorgang in einer geschlossenen Säule.

Frage 35. Wann sagt man, eine Säule ist offen, wann, eine Säule ist geschlossen?

Antwort. Werden die beiden Pole einer Säule (siehe Antwort auf Frage 26) leitend miteinander verbunden, dann sagt man, die Säule ist geschlossen; von einer offenen Säule spricht man, wenn die beiden Pole derselben nicht miteinander in leitender Verbindung stehen.

Frage 36. Welcher elektrische Vorgang findet statt, wenn eine Säule geschlossen wird, und auf welche Benennungen führte dieser Vorgang?

Figur 28.



Antwort. Wenn eine Voltasche Säule geschlossen wird, d. h. wenn ihre beiden Pole leitend miteinander verbunden werden (etwa durch einen Draht), so „fliesst“ (siehe Erkl. 42) die negative Elektricität, welche an dem negativen Pol angehäuft ist, durch den die Säule schliessenden Draht nach dem positiven Pol, die positive Elektricität, welche an dem positiven Pol angehäuft ist, durch den die Säule schliessenden Draht nach dem negativen Pol. Durch die der Säule innewohnende elektromotorische Kraft wird aufs neue Elektricität erregt, „geschieden“ (siehe Antwort auf Frage 17); es findet somit ein fortwährendes „Fliessen“ von Elektricität vom positiven nach dem negativen Pol und vom negativen nach dem positiven Pol statt. Man sagt daher: „Die beiden Elektricitäten fliessen in entgegengesetzter Richtung durch die geschlossene Säule“; oder man sagt: „Die beiden elektrischen Ströme zirkulieren (kreisen) in der geschlossenen Säule“. Man nennt deshalb den Weg, welchen die beiden Elektricitäten durch die geschlossene Säule in entgegengesetzter Richtung durchlaufen, den Stromkreis.

Unter der Richtung des Stroms versteht man die Richtung, in wel-

cher die positive Elektricität durch den Stromkreis fliesst. Demnach ist die Richtung des (positiven) Stroms innerhalb der Säule vom negativen nach dem positiven Pol, ausserhalb der Säule vom positiven nach dem negativen Pol, siehe Figur 28 und Antwort auf Frage 29.

Frage 37. Was versteht man unter der Stärke oder Intensität des elektrischen Stroms?

Antwort. Unter der Stärke oder Intensität des elektrischen Stroms versteht man die Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Stromkreises fliesst (siehe Antwort auf folgende Frage).

Frage 38. Welche Gesetze wurden in bezug auf die Intensität oder Stärke des elektrischen Stroms aufgestellt?

Antwort. In bezug auf die Intensität oder Stärke des elektrischen Stroms wurden folgende Gesetze aufgestellt:

1). Die Stärke des elektrischen Stroms ist an jeder Stelle des Stromkreises gleich gross; d.h. also: Durch jeden Querschnitt des Stromkreises fliesst in derselben Zeit die gleiche Elektricitätsmenge (siehe vorige Antw. und Erkl. 89).

2). Die Stromstärke ist abhängig von der Natur der durchflossenen Leiter.

3). Unter sonst gleichbleibenden Umständen ist die Stromstärke um so kleiner, je länger der von dem Strom zu durchfliessende Leiter ist; sie ist um so grösser, je kürzer dieser Leiter ist.

4). Unter sonst gleichbleibenden Umständen ist die Stromstärke um so kleiner, je kleiner der Querschnitt des durchflossenen Leiters ist; sie ist um so grösser, je grösser dieser Querschnitt ist.

4). Unter sonst gleichbleibenden Umständen ist die Stromstärke um so grösser, je grösser die elektromotorische Kraft der betreffenden Säule ist; sie ist um so kleiner, je kleiner die elektromotorische Kraft ist (siehe die Erkl. 89—91).

Erkl. 89. Das in nebenstehender Antwort unter 1). gegebene Gesetz ist in allen Fällen richtig, vorausgesetzt, dass an keiner Stelle des Stromkreises ein Stromverlust stattfindet.

Erkl. 90. Das in nebenstehender Antwort unter 2). gegebene Gesetz kann auch in folgender Weise ausgedrückt werden: Die Stromstärke ist abhängig von dem Widerstand des durchflossenen Leiters (siehe Erkl. 91).

Erkl. 91. Da die verschiedenen Körper den elektrischen Strom verschieden gut leiten, so nimmt man an, dass jeder Körper dem ihn durchfliessenden elektrischen Strom einen gewissen Widerstand, einen Leitungswiderstand entgegensetzt. Dieser Widerstand ist um so kleiner, je grösser der Querschnitt des durchflossenen Körpers ist; er wird um so grösser, je kleiner dieser Querschnitt ist. Ausführliches über den Leitungswiderstand findet man in einem späteren Abschnitt.

4). Ueber die Rheomotoren.

(Galvanische Elemente etc.)

A). Ueber die Rheomotoren im allgemeinen.

Frage 39. Was versteht man unter einem Rheomotor?

Erkl. 92. Das Wort „Rheomotor“ (vom griech. ῥεῖν = fliessen und vom latein. motor = bewegen) heisst Stromerreger.

Antwort. Unter einem Rheomotor versteht man jede Einrichtung, mittels welcher ein elektrischer Strom erregt werden kann (siehe Erkl. 92).

Frage 40. Was versteht man nnter einem galvanischen Element?

Erkl. 93. Statt der in nebenstehender Antwort erwähnten Metallplatten eignen sich noch einige andre Körper, z. B. Kohle und Superoxyde, zur Verwendung in galvanischen Elementen.

Antwort. Unter einem galvanischen Element versteht man einen Rheomotor, bestehend aus zwei plattenförmigen oder auch anders geformten Metallstücken, welche, ohne sich zu berühren, in ein und dieselbe Flüssigkeit oder in zwei sich berührende Flüssigkeiten tauchen (siehe Erkl. 93).

Frage 41. Was versteht man unter einer galvanischen Säule, Kette oder Batterie?

Erkl. 94. Die Bezeichnungen Säule und Kette werden häufig auch für die einzelnen Elemente (siehe Antwort auf Frage 40) gebraucht, aus denen nach nebenstehender Antwort die Säulen und Ketten zusammengesetzt werden. In diesem Lehrbuch ist jedoch die Unterscheidung zwischen Elementen einerseits und Säulen, Ketten oder Batterien andrerseits festgehalten (siehe die Erkl. 95 und 95[a]).

Erkl. 95. Die in nebenstehender Antwort genannte Bezeichnung „Säule“ rührt von *Volta* her und erklärt sich aus der Form des in Figur 15 abgebildeten Voltaschen Rheomotors.

Erkl. 95[a]. Die in nebenstehender Antwort genannte Bezeichnung „Kette“ erklärt sich aus der Art, wie die Elemente häufig zusammengesetzt werden.

Antwort. Unter einer galvanischen Säule, Kette oder Batterie versteht man eine Kombination einer beliebigen Anzahl von Elementen, welche in irgend einer Weise derart miteinander verbunden sind, dass sie einen gemeinschaftlichen elektrischen Strom liefern können (siehe die Erkl. 94—95[a]).

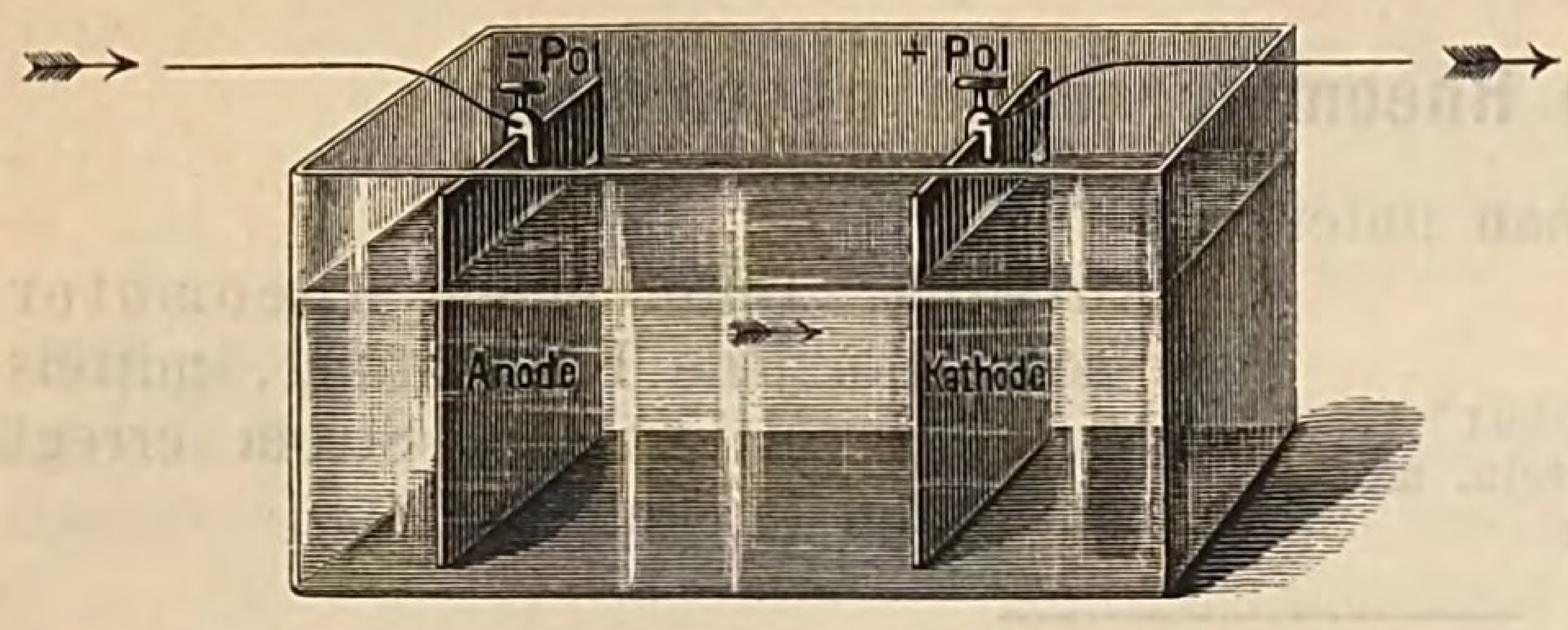
Frage 42. Aus welchen wesentlichen Teilen besteht ein einfaches galvanisches Element und wie werden dieselben genannt?

Antwort. Ein einfaches galvanisches Element besteht aus zwei Platten von verschiedenem Metall, welche in ein mit einer Flüssigkeit gefülltes Gefäss eingetaucht sind, ohne sich zu berühren. Diese beiden Metallplatten,

siehe Figur 29, werden Elektroden genannt. Diejenige Elektrode, von welcher aus der (positive) elektrische Strom (siehe Antwort auf Frage 36) in dem Elemente selbst nach der andern Elektrode fliesst, heisst die positive Elektrode oder Anode; die andre Elektrode, von welcher der elektrische Strom durch den äusseren Teil des Stromkreises fliesst, heisst die negative Elektrode oder Kathode. Derjenige Teil der Elektroden, welcher nicht in die Flüssigkeit eintaucht, wird Pol genannt; nach der in Antwort auf Frage 36 gegebenen Definition befindet sich also der positive Pol an der negativen Elektrode, der negative Pol an der positiven Elektrode.

Die Vorrichtungen, welche mitunter an den Polen angebracht sind, um einen Leitungsdraht nach Belieben rasch und sicher befestigen und wieder wegnehmen zu können, heissen Polklemmen *p* (siehe Figur 29 und Erkl. 96).

Figur 29.



Erkl. 96. Die in nebenstehender Antwort erwähnten Vorrichtungen zum Befestigen von Leitungsdrähten sind in einem späteren Abschnitt beschrieben.

Frage 43. In welche Gruppen kann man die galvanischen Elemente in bezug auf ihre wesentlichen Bestandteile zusammenfassen?

Antwort. Wie in den Antworten auf die Fragen 40 und 42 gesagt ist, besteht ein galvanisches Element im wesentlichen aus zwei Metallen (siehe auch Erkl. 93), welche in ein und dieselbe Flüssigkeit oder in zwei sich berührende Flüssigkeiten eintauchen. Je nachdem nun die Elemente entweder eine oder zwei Flüssigkeiten enthalten, und je nach der Art der Elektroden (siehe Antwort auf Frage 42) kann man sie in folgende Gruppen einteilen:

1). Elemente mit einer Flüssigkeit und zwar
- a). einfache Voltasche Elemente,
- b). Elemente mit präparierten Elektroden,
- c). Kohle-Elemente,
- d). Metallsuperoxyd-Elemente;

2). Elemente mit zwei Flüssigkeiten (siehe Erkl. 97);

3). Gas-Elemente.

Erkl. 97. Wie in einem späteren Abschnitt gezeigt wird, unterscheiden sich die Elemente auch hinsichtlich ihrer Wirkung durch grössere oder geringere Konstanz, d. h. durch mehr oder minder lang andauernde gleichmässige Stromstärke; man kann demnach die Elemente auch nach ihrer Wirkung einteilen in inkonstante und konstante Elemente.

Erkl. 98. Ausser den in nebenstehender Antwort bezeichneten Elementen gibt es noch Thermoelemente. Ausführliches darüber findet man in *Mays* Lehrbuch der Thermoelektricität.

B). Ueber die galvanischen Elemente mit einer Flüssigkeit.

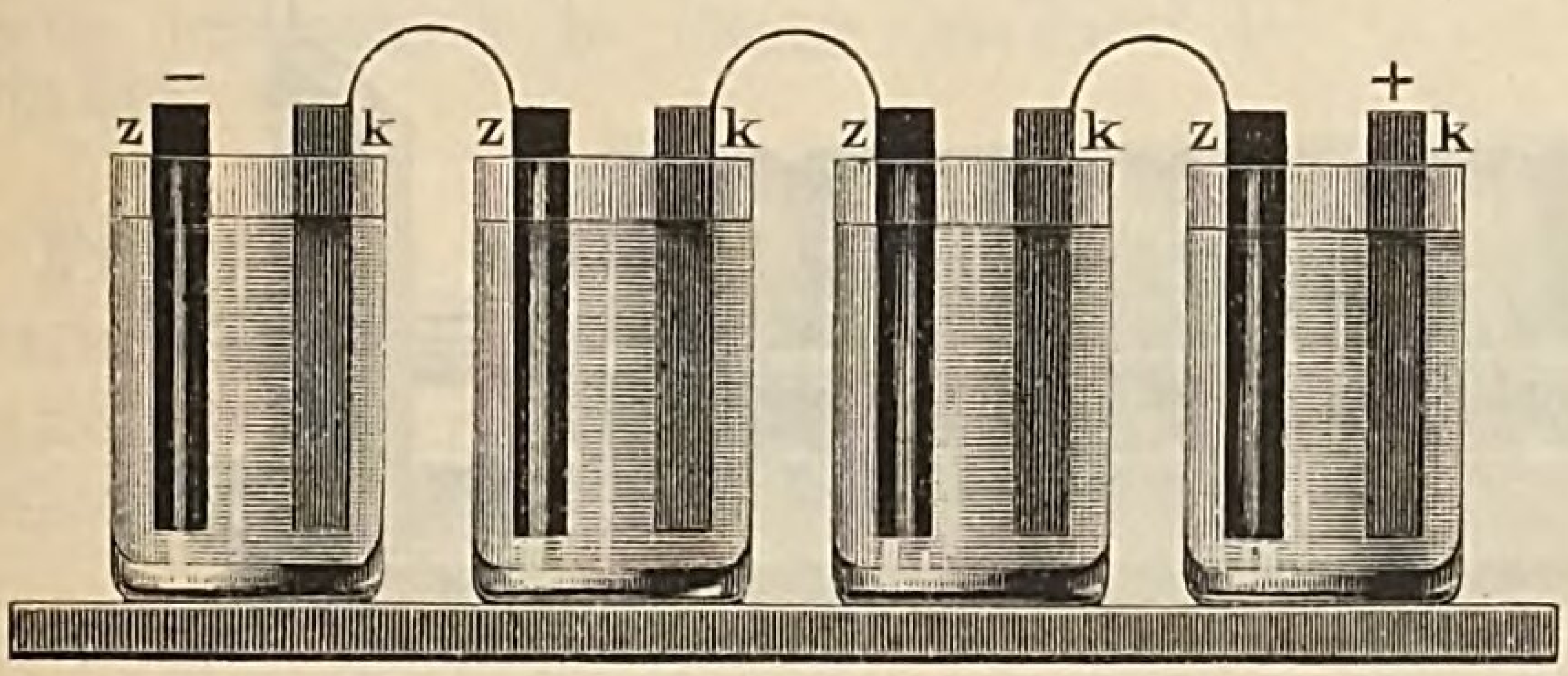
a). Ueber die einfachen Voltaschen Elemente.

Frage 44. Was versteht man unter einem einfachen Voltaschen Zink- und Kupfer-Element?

Antwort. Unter einem einfachen Voltaschen Element [siehe vorige Antwort unter 1).] versteht man ein solches Element, bei welchem die Metalle Zink und Kupfer als Elektroden in ein und dieselbe Flüssigkeit (Säuren oder Salzlösungen) eintauchen.

Frage 45. Worin besteht die Einrichtung eines Voltaschen Becherelements, bezw. die einer Voltaschen Bechersäule?

Figur 30.



Antwort. Die Einrichtung einer Voltaschen Bechersäule besteht in folgendem:

In einem Glasgefäss, welches eine stark mit Wasser verdünnte Säure (angesäuertes Wasser) oder Kochsalzlösung enthält, siehe Figur 30, steht eine Zinkplatte *Z* und eine Kupferplatte *K*. Diese Einrichtung bildet ein Voltasches Becher-Element (siehe Antwort auf Frage 40). Die Kupferplatte *K* eines solchen Elements trägt oben einen angelöteten Kupferstreifen, dessen anderes Ende an die Zinkplatte *Z* eines zweiten Voltaschen Elements angelötet ist. Die Kupferplatte *K* dieses zweiten Elements steht wiederum mit der Zinkplatte eines dritten in Verbindung u. s. f. Eine derartige Verbindung einer beliebigen Anzahl Voltascher Becher-Elemente nennt man eine Voltasche Bechersäule (siehe Antwort auf Frage 46).

Frage 46. Welche praktischen Vorzüge besitzt die Voltasche Bechersäule vor der in Antwort auf Frage 26 beschriebenen Voltaschen Säule?

Erkl. 99. Die in nebenstehender Antwort bezeichneten Uebelstände der Voltaschen Säule suchte man wenigstens teilweise zu beseitigen. Zur Erzielung eines gleichmässigen Kontakts lötete man die benachbarten Metallplatten mit den Berührungsflächen zusammen (siehe Antwort auf Frage 26); um die Flüssigkeit am Herausfliessen aus den Tuchscheiben zu verhindern,

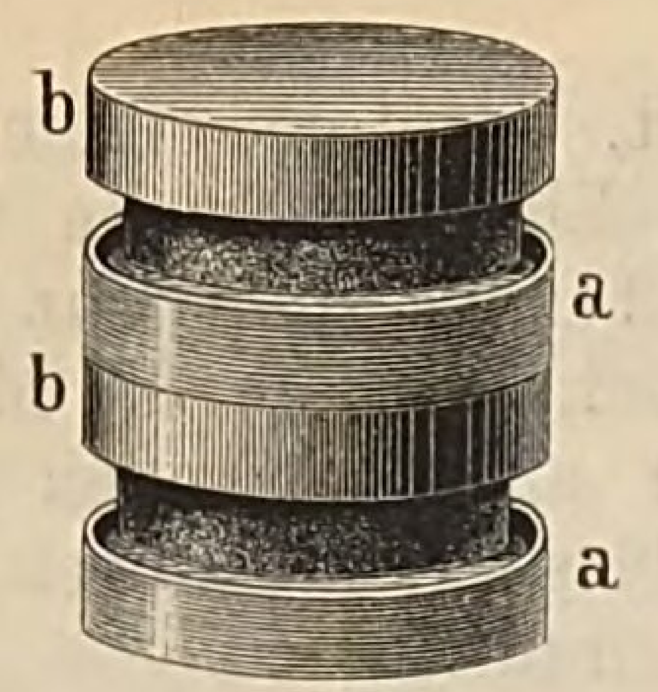
Antwort. Die in Antwort auf Frage 26 beschriebene und durch die Figuren 15 und 28 dargestellte Voltasche Säule besitzt folgende Nachteile:

1). Die unteren Elemente werden stärker gepresst als die oberen;

2). ist die Pressung zu gering, so ist die leitende Verbindung der benachbarten Platten nicht genügend;

versah man die Metallplatten *a*, siehe Figur 31, auf welchen die Tuchscheiben liegen, mit einem

Figur 31.



erhöhten Rand. Dabei musste jedoch besonders darauf geachtet werden, dass der erhöhte Rand der Metallplatten *a* beim Zusammenpressen die Metallplatten *b* nicht berührte (siehe Erkl. 100).

Erkl. 100. Zur Herstellung einer gleichmässigen Pressung der Elemente der in Antwort auf Frage 26 beschriebenen Voltaschen Säule legte man nach *Haldane* die Säule horizontal. Zwischen zwei Glasstäben *G*, siehe Figur 32, sind die Elemente vertikal nebeneinander geschichtet und werden durch die Schraube *S* zwischen den beiden hölzernen Stirnwänden *H*, welche auf der Holzunterlage *U* befestigt sind, zusammengepresst.

Erkl. 101. Die in voriger Antwort beschriebene Bechersäule wurde von *Volta* im Jahre 1800 konstruiert. Sie war die erste Kette, welche *Volta* zusammenstellte, und erst später erfand er die säulenförmige Kette, um sie als leicht transportablen Rheomotor zu verwenden (siehe Erkl. 102).

Erkl. 102. Als leicht transportabler Rheomotor sei hier die im Jahre 1851 von *Pulvermacher* angegebene Kette erwähnt, welche zu Heilzwecken diente und wegen ihrer leichten Inbetriebsetzung und Transportierbarkeit in Deutschland, Frankreich und England sehr verbreitet war. Sie bestand, siehe Figur 33, aus Holzstäbchen, welche etwa die Dicke eines gewöhnlichen Bleistifts besassen, auf welche

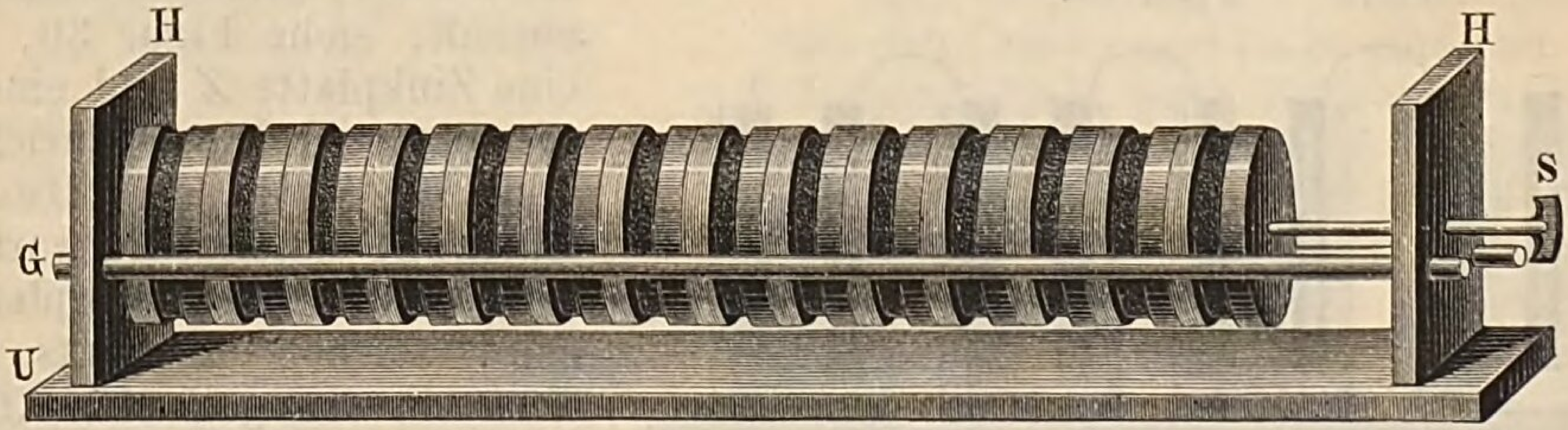
3). ist die Pressung zu stark, so fliesst die Flüssigkeit aus den Tuchscheiben und bringt die Elemente in eine leitende Verbindung, welche an den benetzten Stellen einen teilweisen Ausgleich der Elektricitäten im Inneren der Säule und dadurch eine Verringerung der Wirkung verursacht (siehe Erkl. 99);

4). die feuchten Tuchscheiben trocknen leicht aus;

5). die Metallplatten inkrustieren sich mit den Zersetzungsprodukten, welche durch die Einwirkung der Flüssigkeiten auf die betreffenden Metalle entstehen.

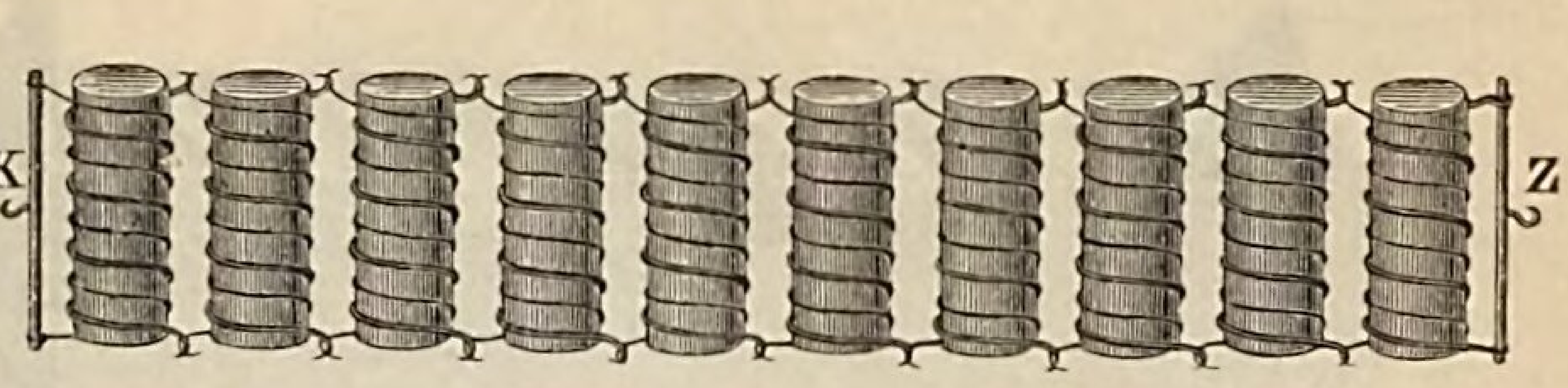
Die in voriger Antwort beschriebene Voltasche Bechersäule besitzt, wie aus der Beschreibung und aus Figur 30 hervorgeht, diese genannten Nachteile nicht (siehe die Erkl. 100—103).

Figur 32.



Zink- und vergoldete Kupferdrähte abwechselnd spiralförmig aufgewickelt waren, ohne dass sie sich berührten. Die Kupfer- und Zinkdrähte eines Stäbchens waren mittels vergoldeter Ringe mit den ungleichnamigen Drähten der benachbarten Stäbchen verbunden, so dass jedes Stäbchen ein Element und die je zwei Stäbchen verbindenden Ringe die Kontaktstellen der beiden Metalle bildeten. Die Drähte des ersten und des letzten Elements waren in Metallstäben *K* und *Z* befestigt, welche mit Haken versehen waren. Diese Kette wurde einfach durch Essig gezogen, wobei die Holzstäbchen genügend Flüssigkeit aufsaugten, um, ähnlich wie die Tuchscheibe in der Voltaschen Säule, als feuchte Leiter dienen zu können. Die so präparierte Kette wurde an zwei isolierenden Glasstäben aufgehängt; *K* und *Z* bildeten die beiden Pole dieser Kette.

Figur 33.



Erkl. 103. Da die Voltaschen Becherelemente von den in nebenstehender Antwort genannten Uebelständen frei sind, so wurden sie das Urbild für eine grosse Anzahl von Elementen, deren bekannteste in diesem Abschnitt beschrieben sind.

Frage 47. Welches sind die bekanntesten, nach dem Prinzip des Voltaschen Becherelements konstruierten galvanischen Elemente?

Antwort. Die bekanntesten, nach dem Prinzip des Voltaschen Becherelements (siehe Antwort auf Frage 45) konstruierten galvanischen Elemente sind die folgenden:

1). *Cruikshanks* Trogapparat (siehe Antwort auf Frage 48),

2). *Wilkinsons* Trogapparat (siehe Antwort auf Frage 49),

3). *Wollastons* Trogapparat (siehe Antwort auf Frage 50),

4). *Oerstedts* Element (siehe Antwort auf Frage 51),

5). *Schmidts* Element (siehe Antwort auf Frage 52),

6). *Hares* Spirale (siehe Antwort auf Frage 53),

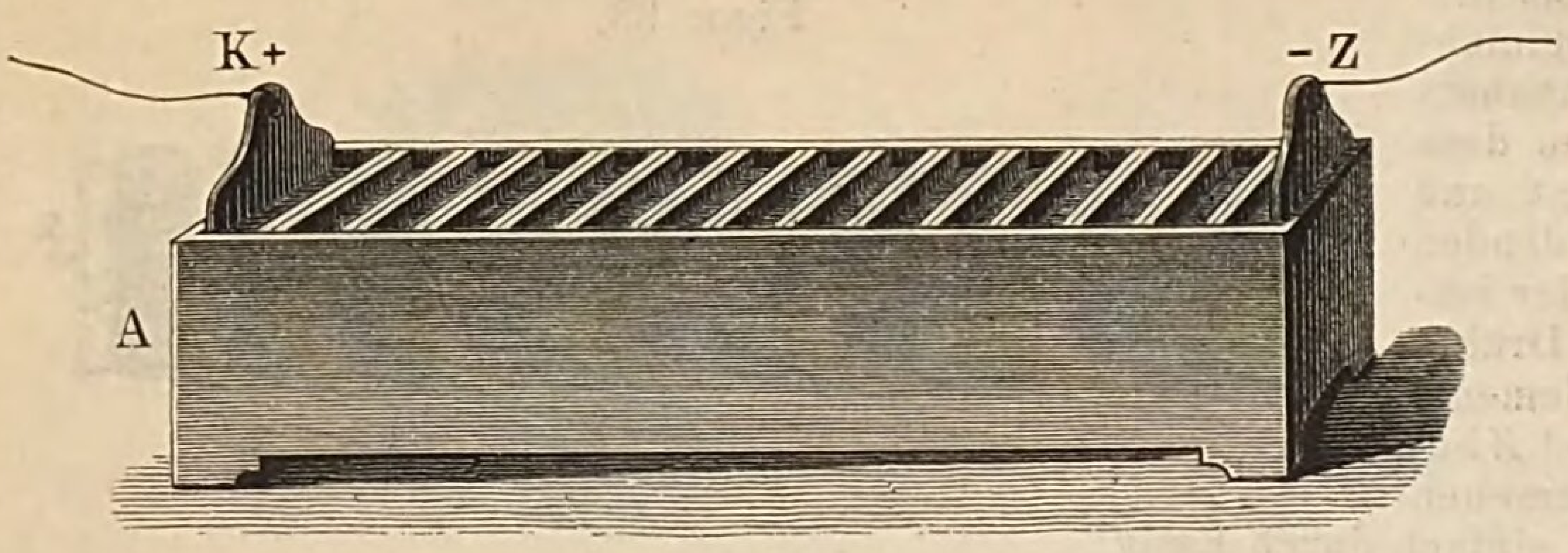
7). *Faradays* Säule (siehe Antwort auf Frage 54),

8). *Youngs* Säule (siehe Antwort auf Frage 55).

Frage 48. Worin besteht die Einrichtung von Cruikshanks Trogapparat?

Antwort. Die Einrichtung von Cruikshanks Trogapparat besteht in folgendem:

Figur 34.



Erkl. 104. Der in nebenstehender Antwort beschriebene Apparat wurde von *Cruikshank* im Jahre 1801 angegeben. Einen derartigen Apparat von 600 Plattenpaaren schenkte Napoleon I. der Pariser Akademie.

Erkl. 105. Der in nebenstehender Antwort beschriebene Apparat besitzt das Eigentümliche, dass die einzelnen Gefässe durch die eingedichteten Doppelplatten selbst gebildet werden, und dass alle Gefässe durch Umdrehen des Apparats auf einmal entleert werden können. Auch nimmt er bei gleicher Elementenzahl weniger Raum ein als die Voltasche Bechersäule. Dagegen verlangt er, dass die Platten gut eingedichtet werden.

In einem hölzernen, gut gedichteten Trog *A*, siehe Figur 34, sind metallene Doppelplatten so eingepassst, dass der Raum des Troges in kleine Abteilungen geteilt wird. Diese Doppelplatten sind durch Zusammenlöten je einer Zink- und einer Kupferplatte hergestellt. Die beiden äussersten Platten sind einfache Platten. Die äusserste Anode ist die Zinkplatte *Z*, die äusserste Kathode die Kupferplatte *K* (siehe Antwort auf Frage 42). Die einzelnen Abteilungen zwischen den Doppelplatten werden mit verdünnter Säure (mit angesäuertem Wasser) gefüllt. Die Doppelplatten sind mit der Zinkfläche alle nach der einen, mit der Kupferfläche alle nach der andern Seite gewendet (siehe die Erkl. 104 und 105).

Frage 49. Worin besteht die Einrichtung von Wilkinsons Trogapparat?

Erkl. 105a. Die Beschreibung der Einrichtungen der mannigfaltigen galvanischen Elemente und Säulen ist nicht überall in gleicher ausführlicher Weise durchgeführt, sondern nur bei denjenigen Elementen, auf welche in späterem weiter Bezug genommen wird. Ausführliches über das eine oder das andre der in den Abschnitten B)., C). und D). kurz beschriebenen Elemente findet man an geeigneter Stelle in späteren Abschnitten.

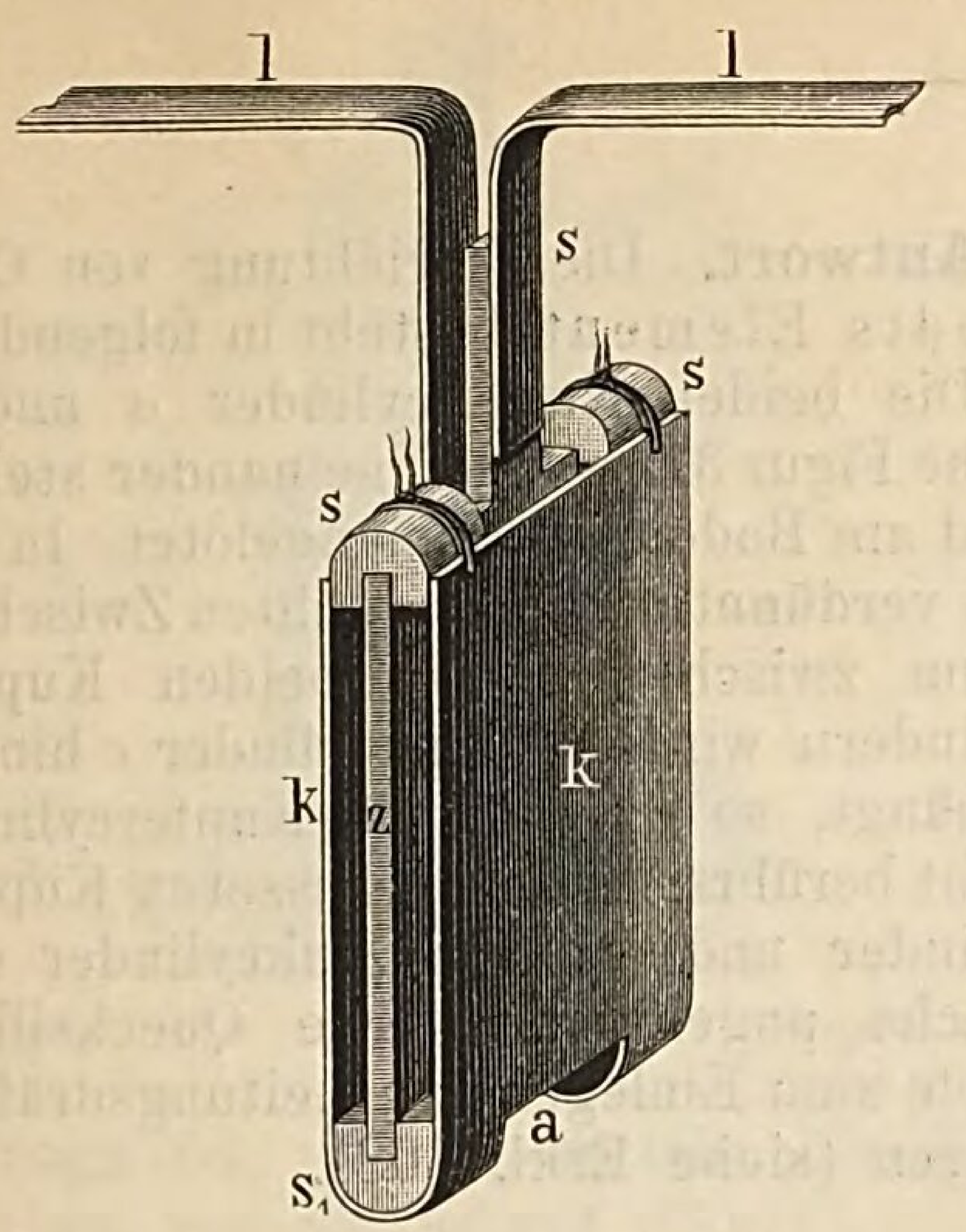
Antwort. Die Einrichtung von Wilkinsons Trogapparat besteht in folgendem:

Ein hölzernes oder thönernes Gefäss von der äusseren Form des Cruikschankschen Trogapparats (siehe vorige Antwort) ist durch Scheidewände von Holz, bezw. Thon in einzelne Zellen geteilt. In diese mit verdünnter Säure oder Salzlösung gefüllten Zellen werden, gerade wie bei der in Antwort auf Frage 45 beschriebenen und durch Figur 30 dargestellten Voltaschen Bechersäule die Kupfer- und Zinkplatten eingesetzt und in derselben Weise werden die einzelnen Elemente leitend miteinander verbunden (siehe Erkl. 105a).

Frage 50. Worin besteht die Einrichtung eines Wollastonschen Elements, worin die Einrichtung einer Wollastonschen Säule?

Antwort. Die Einrichtung eines Wollastonschen Elements besteht in folgendem:

Figur 35.

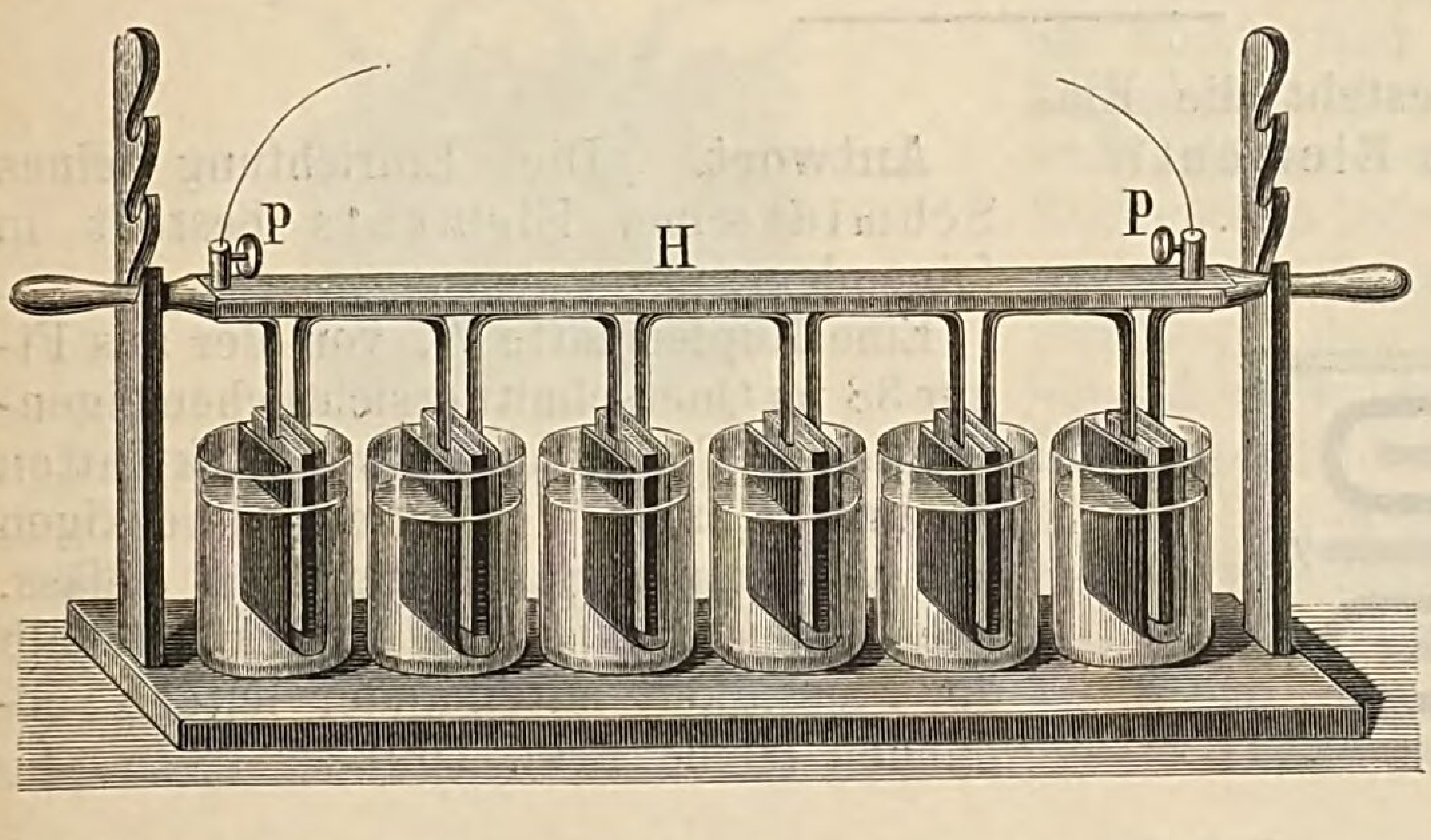


Um eine Zinkplatte Z, siehe Figur 35, ist eine doppelt so grosse Kupferplatte K herumgebogen und durch halbrunde Holzklötze ss und $s_1 s_1$ von der Zinkplatte getrennt. Letztere ist in die Holzklötze $s s_1$ eingelassen und die Kupferplatte durch Drähte an den oberen Holzklötzen befestigt, so dass ein solches Plattenpaar stets seine einmal bestimmte gegenseitige Lage behält. An die Zinkplatte Z und an die Kupferplatte K ist je ein Kupferstreifen l gelötet. Wird ein solches Plattenpaar in ein Gefäss mit verdünnter Säure getaucht, so bildet es ein Element.

Aus solchen Plattenpaaren wird in folgender Weise eine Wollastonsche Säule gebildet:

Die Kupferplatte K eines Plattenpaars, siehe Figur 36, wird mit der Zinkplatte Z eines zweiten Plattenpaars mittels der an beiden Platten angelöteten Kupferstreifen in leitende Verbindung gebracht, ebenso die Kupferplatte dieses zweiten Plattenpaars mit der Zinkplatte eines dritten u. s. f. Die sämtlichen Kupferstreifen der so verbundenen Plattenpaare werden, siehe Figur 36, an einem Holzrahmen H befestigt, welcher derart auf zwei Holzsäulen ruht, dass jedes Plattenpaar in ein besonderes, mit verdünnter Säure gefülltes Glasgefäss hineinhängt. In den Holzsäulen sind in verschiedener Höhe Einschnitte gemacht, um durch Höher- oder Tieferstellung des Holzrahmens H die Plattenpaare nach Belieben in ihre Gefässe einsenken oder herausnehmen zu können. Damit die Flüssigkeit beim Herausheben der Platten aus den durch die Kupferplatten gebildeten Taschen leicht herausfliesst, sind die Kupferplatten unten bei a durchbrochen (siehe Figur 35 und die Erkl. 106 und 107).

Figur 36.



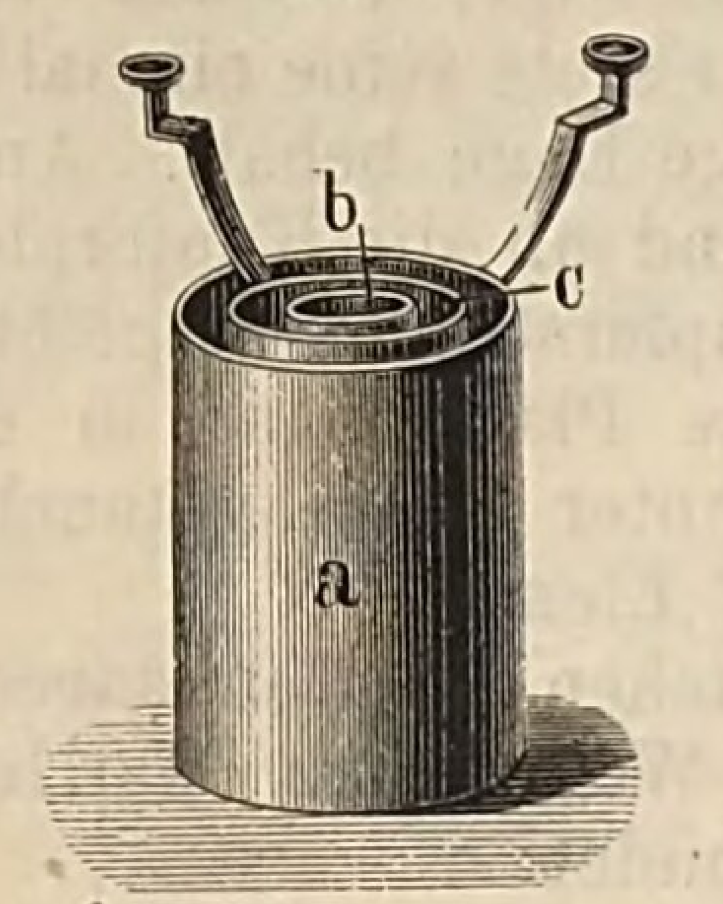
Erkl. 106. Die Kupferoberfläche eines Wollastonschen Elements ist, wie aus nebenstehender Antwort ersichtlich, doppelt so gross als bei einem Voltaschen Becherelement und die Zinkplatte kommt mit beiden Flächen zur Wirkung. Diese Vergrösserung der Oberfläche bedingt eine Vergrösserung der Intensität des elektrischen Stroms, wie in einem späteren Abschnitt nachgewiesen wird.

Erkl. 107. Zur Ersparung der Gefässe wurde auch statt des bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Apparat verwendeten gebogenen Kupferblechs ein viereckiger kupferner Kasten verwendet, in welchen die Zinkplatte, durch einen hölzernen Leisten isoliert, hineingehängt wurde; der Kasten wurde dann mit

der verdünnten Säure gefüllt, die Verbindungsdrähte waren an die Zinkplatte und an den kupfernen Kasten angelötet.

Frage 51. Worin besteht die Einrichtung von Oerstedts Element?

Figur 37.



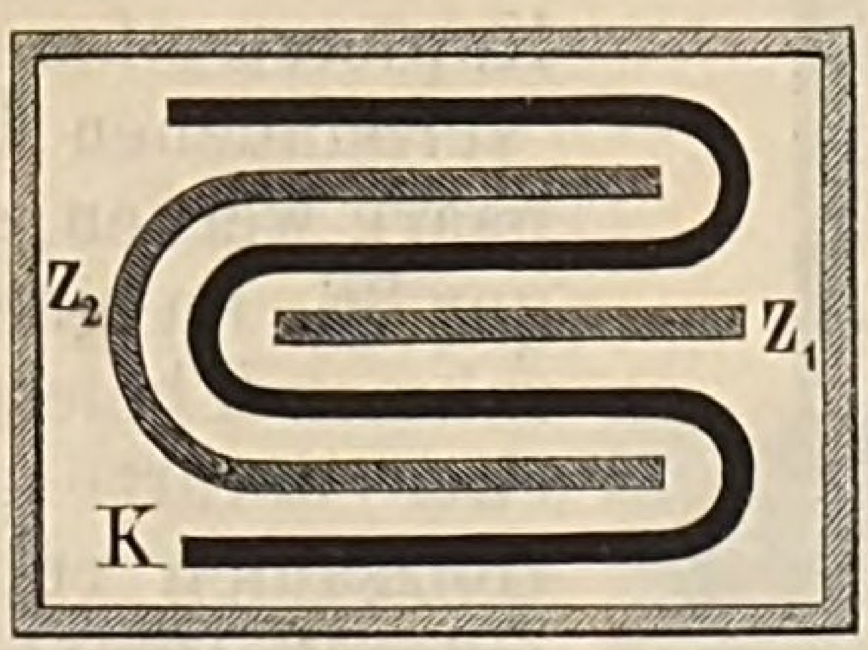
Erkl. 108. *Hans Christian Oerstedt*, geb. 14. Aug. 1777 zu Rudkjöbing in Dänemark, † 9. März 1851, war Professor der Physik zu Kopenhagen. Derselbe ist der Entdecker wichtiger Gesetze des Elektromagnetismus.

Antwort. Die Einrichtung von Oerstedts Element besteht in folgendem:

Die beiden Kupfercylinder *a* und *b*, siehe Figur 37, welche ineinander stehen, sind am Boden zusammengelötet. In den mit verdünnter Säure gefüllten Zwischenraum zwischen diesen beiden Kupfercylindern wird der Zinkcylinder *c* hineingehängt, so dass er die Kupfercylinder nicht berührt. An dem äusseren Kupfercylinder und an dem Zinkcylinder sind Bleche angelötet, welche Quecksilbernäpfe zum Einlegen von Leitungsdrähten tragen (siehe Erkl. 108).

Frage 52. Worin besteht die Einrichtung von Schmidts Element?

Figur 38.



Erkl. 109. Durch die eigentümliche Form der Platten des in nebenstehender Antwort beschriebenen Elements wird eine beträchtliche Vergrösserung der Oberfläche erreicht.

Antwort. Die Einrichtung eines Schmidtschen Elements besteht in folgendem:

Eine Kupferplatte *K*, von der aus Figur 38 im Querschnitt ersichtlichen eigentümlichen Form, und zwei Zinkplatten Z_1 und Z_2 stehen in einem viereckigen mit verdünnter Säure gefüllten Gefäss. Die beiden Zinkplatten sind ausserhalb der Flüssigkeit miteinander leitend verbunden (siehe Erkl. 109).

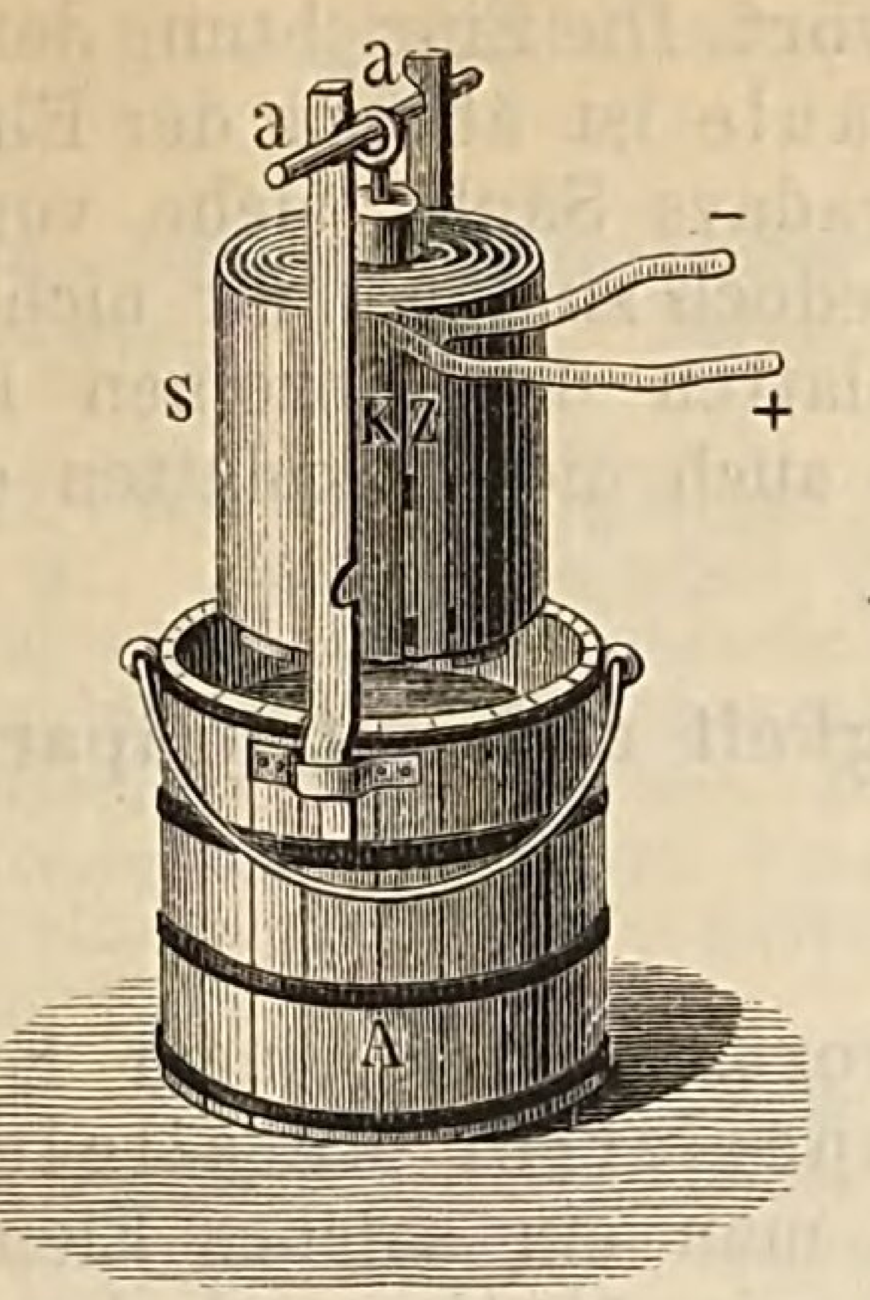
Frage 53. Worin besteht die Einrichtung von Hares Spirale?

Erkl. 110. Durch die Form des in nebenstehender Antwort beschriebenen Elements wird eine möglichst grosse Metalloberfläche in einen verhältnismässig kleinen Raum zusammengedrängt.

Antwort. Die Einrichtung von Hares Spirale besteht in folgendem:

Auf einen langen Kupferblechstreifen wird ein ebensolcher Zinkblechstreifen gelegt, welcher entweder durch eine genügende Anzahl eingelegter Holzstäbe, oder durch einen dazwischenliegenden Tuchstreifen vor der direkten Berührung mit dem Kupferstreifen geschützt ist.

Figur 39.



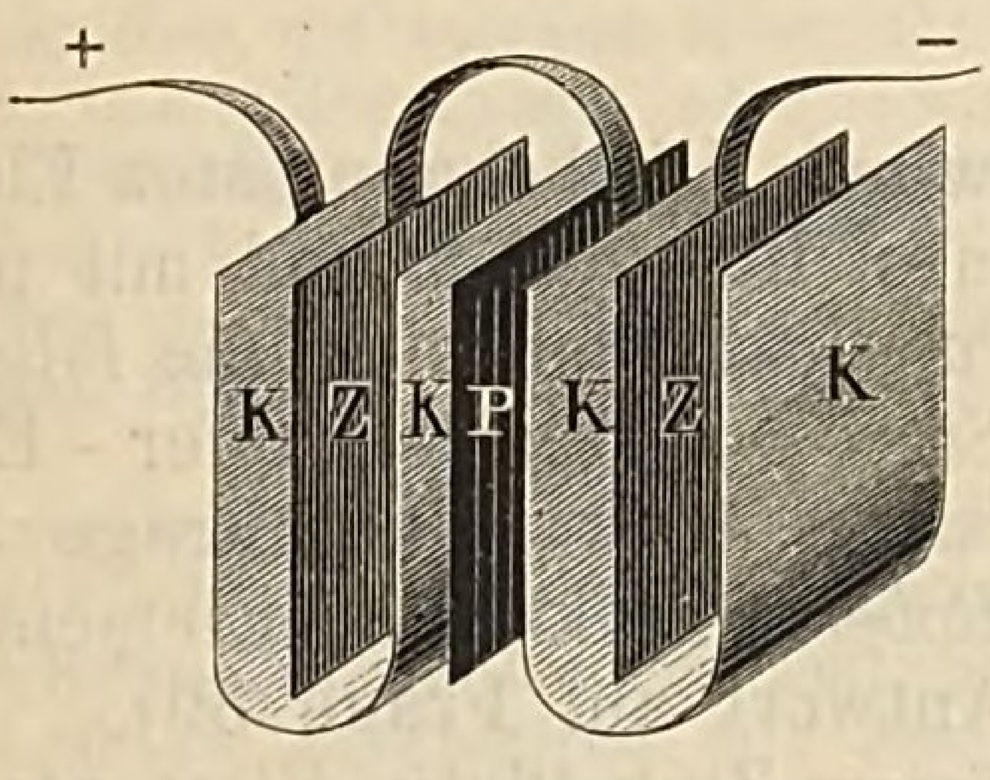
Diese beiden Bleche werden um einen Holzcylinder zu einer Spirale *S* gewickelt, siehe Figur 39. Das Gefäss *A*, welches die Flüssigkeit enthält, ist gerade so gross, dass es diese Spirale aufnehmen kann, und trägt zwei Holzleisten, in deren Einschnitte *a a* die Plattenspirale beim Nichtgebrauch aufgehängt wird, wie die Figur 39 zeigt (siehe Erkl. 110).

Frage 54. Worin besteht die Einrichtung von Faradays Säule?

Antwort. Die Einrichtung von Faradays Säule besteht in folgendem:

Die Kupferplatten *K*, siehe Figur 40, sind, ähnlich wie bei dem Wollastonschen Element (siehe Antw. auf Frage 50), um Zinkplatten *Z* herumgebogen. Die Zinkplatte *Z* eines solchen Elements steht mit der Kupferplatte *K* des zweiten Elements in leitender Verbindung. Ebenso ist die Zinkplatte des zweiten Elements mit der Kupferplatte des dritten leitend verbunden u. s. f. Die einzelnen Elemente sind durch gefirnisste Papierblätter *P* von einander getrennt und in einen gemeinsamen Trog, der die Säure enthält, eingesenkt (siehe die Erkl. 111 bis 113).

Figur 40.



Erkl. 111. Durch die Anwendung von gefirnissten Papierblättern bei der in nebenstehender Antwort beschriebenen Säule, zur Trennung der einzelnen Elemente, wird eine Ersparnis an Gefässen erzielt (siehe Erkl. 112).

Erkl. 112. Die Trennung der Elemente durch gefirnisste Papierblätter bei der in nebenstehender Antwort beschriebenen Säule ist keine ganz vollkommene. Die Säule besitzt jedoch bei einfacher Anordnung eine relativ grosse Metalloberfläche (siehe die Erkl. 106, 109 u. 110).

Erkl. 113. *Michael Faraday*, geb. 22. Sept. 1791 zu Newington bei London, † 25. August 1867, war ein hervorragender Physiker, welcher unter anderem die magnetoelektrische Induktion, den Diamagnetismus und das elektrolytische Gesetz entdeckte. Er war Professor an der Royal Institution und an der Militärakademie zu Woolwich.

Frage 55. Worin besteht die Einrichtung der Youngschen Säule?

Antwort. Die Einrichtung der Youngschen Säule ist ähnlich der Einrichtung von Faradays Säule (siehe vorige Antwort), jedoch sind bei ihr nicht nur die Kupferplatten der einzelnen Elemente, sondern auch die Zinkplatten doppelt.

b). Ueber die Elemente mit einer Flüssigkeit und mit präparierten Elektroden.

Frage 56. Was versteht man unter einem Element mit präparierter Metallelektrode?

Erkl. 114. Der in nebenstehender Antwort erwähnte metallische Ueberzug kann bestehen aus Amalgam, Platin, Kupfer etc.

Erkl. 115. Die in nebenstehender Antwort erwähnten Präparationen dienen besonderen Zwecken; ausführliches darüber findet man in einem späteren Abschnitt.

Antwort. Unter einem Element mit präparierter Metallelektrode versteht man ein solches Element, bei welchem eine (oder auch beide) Elektroden mit einem metallischen Ueberzug versehen (siehe Erkl. 114), oder durch chemische Mittel zum Gebrauch vorbereitet sind (siehe Erkl. 115).

Frage 57. Welches sind die bekanntesten Elemente mit einer Flüssigkeit und mit präparierten Elektroden?

Antwort. Die bekanntesten Elemente mit einer Flüssigkeit und mit präparierten Elektroden sind die folgenden:

1). *Sturgeons* Zink - Kupfer - Element (siehe Antwort auf Frage 58),
2). *Roberts'* Zink-Eisen-Element (siehe Antwort auf Frage 59),
3). *Smees* Zink-Platin-Elemente (siehe Antwort auf Frage 60),
4). *Tyers* Smee-Element
5). *Ebners* Smee-Element
6). *Callans* Smee-Element (siehe Antw. auf Frage 61),
7). *Poggendorffs* Zink-Kupfer-Element (siehe Antwort auf Frage 62),
8). *Drives* Zink-Kupfer-Element (siehe Antwort auf Frage 63),
9). *Münnichs* Zink - Eisen - Element (siehe Antwort auf Frage 64),
10). *Niaudets* Zink-Blei-Element (siehe Antwort auf Frage 65),
11). *Bagrations* Erd-Element (siehe Antwort auf Frage 66),
12). *Böttgers* Zink - Antimon - Element (siehe Antwort auf Frage 67),
13). *Osanns* Zink-Element (siehe Antwort auf Frage 68),
14). *Pulvermachers* Zink-Silber-Element (siehe Antwort auf Frage 69).

Frage 58. Worin besteht die Einrichtung von Sturgeons Zink-Kupfer-Element?

Antwort. Die Einrichtung von Sturgeons Zink-Kupfer-Element ist analog derjenigen eines Voltaschen Becherelements; das dabei verwendete Zink ist jedoch amalgamiert (siehe die Erkl. 105a und 116—121).

Erkl. 116. Das in nebenstehender Antwort erwähnte Element wurde im Jahre 1830 angegeben.

Erkl. 117. Wie in einem späteren Abschnitt dargethan ist, wird gewöhnliches Zink von Säuren, auch ohne dass der elektrische Strom das Element durchfliesst, heftig angegriffen und zu schwefelsaurem Zink aufgelöst. Dieser unnütze Zinkverbrauch wird durch Amalgamation des Zinks vermieden (siehe nebenstehende Antwort und Erkl. 118).

Erkl. 118. Die in nebenstehender Antwort erwähnte Amalgamation des Zinks, welche zuerst von *Sturgeon* angewendet wurde, besteht in einer Einreibung der Oberfläche des Zinks mit Quecksilber (siehe Erkl. 119).

Erkl. 119. Die Amalgamation des Zinks (siehe nebenstehende Antwort) wird auf folgende Weise bewerkstelligt:

Die Zinkplatte wird durch Eintauchen in verdünnte Schwefelsäure von ihrer Oxydschicht befreit. Alsdann wird sie rasch in ein Gefäss mit Quecksilber, auf welchem eine Schicht Salzsäure schwimmt, eingetaucht, oder es wird auch, weil das Eintauchen grosser Zinkplatten eine beträchtliche Menge Quecksilber erfordert, das Quecksilber mittels eines Leinwandlappens auf der ganzen Oberfläche der Zinkplatte eingerieben.

Eine andre Methode der Amalgamierung besteht darin, dass man 2 Teile Quecksilber in 10 Teilen Königswasser löst, 10 Teile Salzsäure zusetzt und die Zinkplatten mit dem so erhaltenen Quecksilberchlorid bestreicht (siehe Erkl. 120).

Erkl. 120. Durch die in voriger Erklärung beschriebene Amalgamation des Zinks wird die elektromotorische Kraft des Elements vergrössert. Ausführliches darüber findet man in einem späteren Abschnitt.

Erkl. 121. Schon im Jahre 1828 konstruierte *Kemp* ein Element, in welchem die Zinkplatte des Voltaschen Elements durch flüssiges Zinkamalgam ersetzt war.

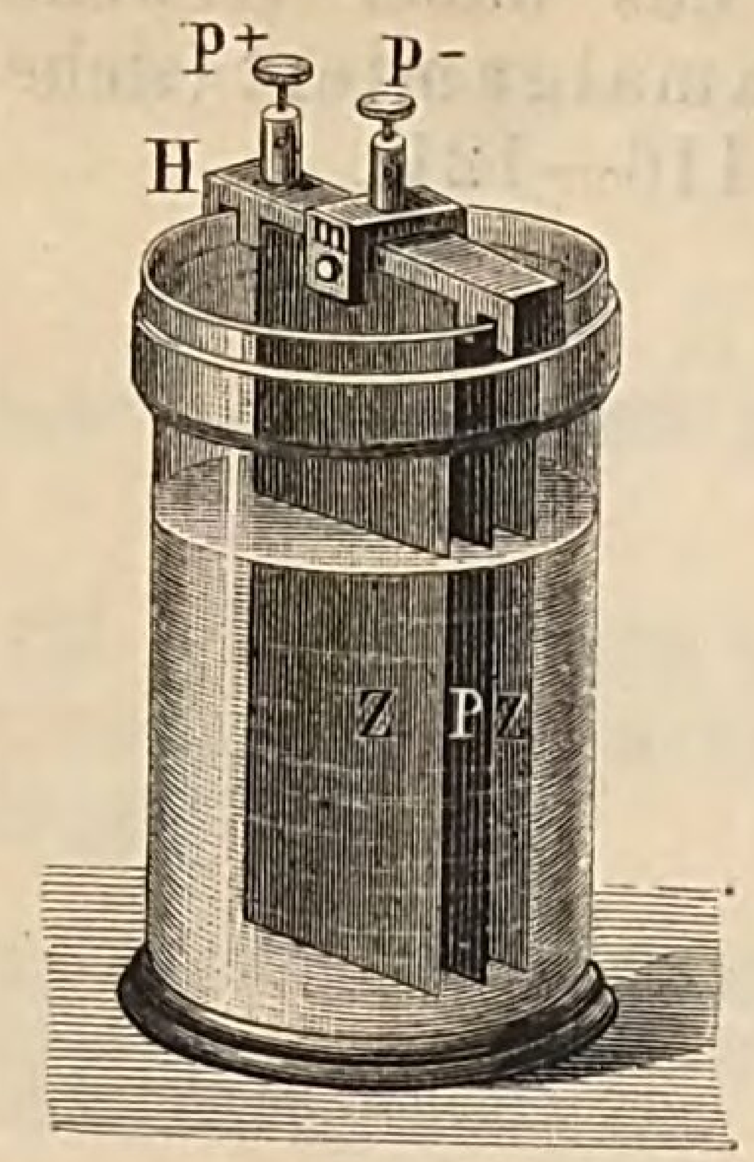
Frage 59. Worin besteht die Einrichtung von Roberts Zink-Eisen-Element?

Antwort. Die Einrichtung von Roberts Zink-Eisen-Element ist analog derjenigen eines Voltaschen Becherelements (siehe Antwort auf Frage 45), nur mit dem Unterschied, dass das Kupfer des Voltaschen Elements durch Eisen ersetzt ist (siehe Erkl. 122).

Erkl. 122. Das in nebenstehender Antwort erwähnte Element wurde von *Sturgeon* im Jahre 1840 in grösserem Massstabe ausgeführt zur Ersparung von besonderen Gefässen füllte er gusseiserne Töpfe mit verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Säure auf 8 Teile Wasser) und hängte in jedes dieser Gefässe einen amalgamierten Zinkcylinder.

Frage 60. Worin besteht die Einrichtung des Zink-Platin-Elements von Smee?

Figur 41.



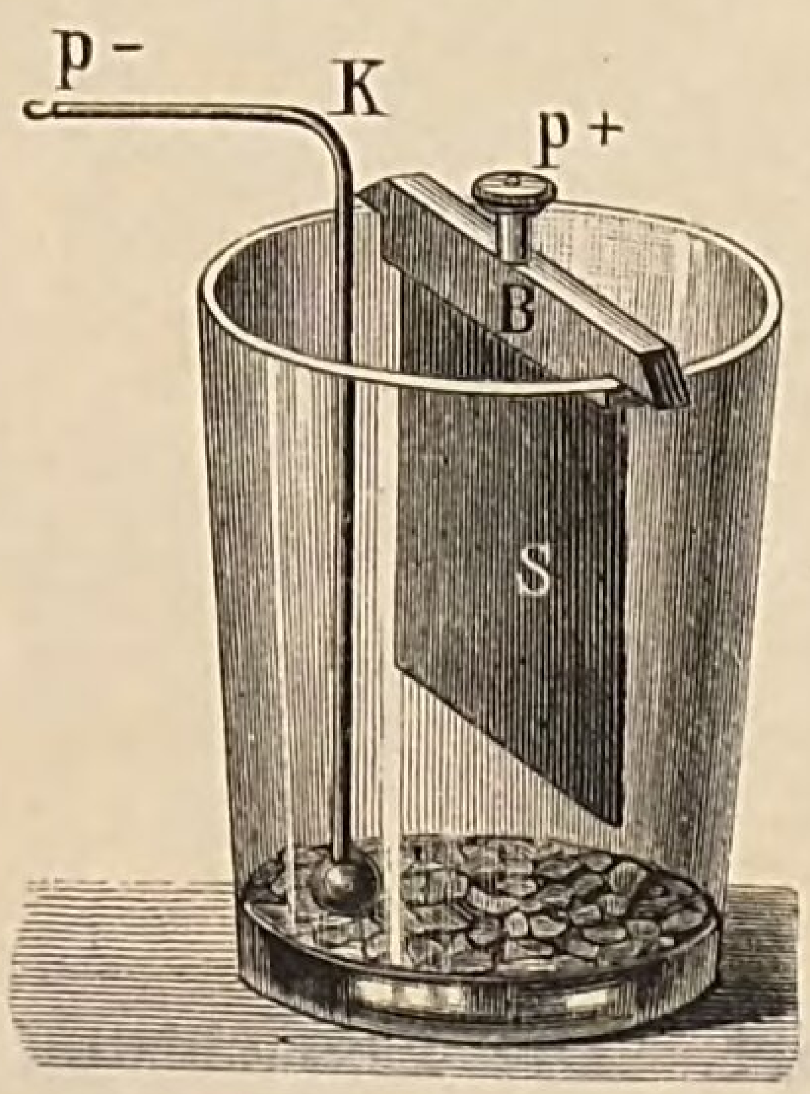
Erkl. 123. Das in nebenstehender Antwort beschriebene Element wurde im Jahre 1840 angegeben.

Antwort. Die Einrichtung des Zink-Platin-Elements von Smee besteht in folgendem:

Eine platinierte Platinplatte *P*, siehe Figur 41, ist in einen Holzrahmen *H* eingeklemmt und steht mit der Polklemme *p*+ in leitender Verbindung. Auf beiden Seiten der Platte *P* sind in geringer Entfernung davon zwei amalgamierte Zinkplatten *Z* durch eine Metallklemme *m* an dem Holzrahmen *H* befestigt, so dass sie mit der an der Metallklemme *m* befestigten Polklemme *p*— in leitender Verbindung stehen. Der Holzrahmen ruht auf dem Rande des Gefässes *G*, welches mit verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Säure auf 7 Teile Wasser) gefüllt ist (siehe Erkl. 123).

Frage 61. Worin bestehen die bekanntesten Abänderungen des Smeeschen Elements und von wem wurden diese Abänderungen angegeben?

Figur 42.



Antwort. Das in voriger Antwort beschriebene Smeesche Element wurde mehrfach dahin abgeändert, dass statt der platinierten Platinplatte eine platinierte Platte von anderem (billigerem) Metall angewendet wurde.

1). Smee wandte platiniertes Silber an.

2). Tyer wandte ebenfalls eine platinierte Silberplatte an. Diese Platte *S*, siehe Figur 42, ist in den Bleirahmen *B* eingeklemmt. Auf dem Boden des Gefässes, in welches die Platte *S* hineingehängt wird, befindet sich eine Schicht Zinkabfälle; der negative Pol *p*— wird durch einen mit Guttapercha überzogenen Kupferdraht *K*, dessen unteres Ende mit einer Zinkkugel versehen ist, mit dem Zink in Verbindung gebracht.

3). Ebner veränderte das unter 2). genannte und in Figur 42 dargestellte Element dahin, dass er platiniertes Blei anwandte.

4). Callan wandte statt der Platinplatten Eisenbleche an, die mit einer Legierung von 1 Teil Zinn und 6 Teilen Blei überzogen und dann platiniert waren.

Frage 62. Worin besteht die Einrichtung des Poggendorffschen Zink-Kupfer-Elements?

Antwort. Das Poggendorffsche Zink-Kupfer-Element gleicht in der Einrichtung den Volta-Elementen. Die Kupferplatte desselben ist mit pulverförmigem Kupfer überzogen (siehe Erkl. 124).

Erkl. 124. Den in nebenstehender Antwort bezeichneten Ueberzug von pulverförmigem Kupfer auf einer Kupferplatte erhält man dadurch, dass man zwei Kupferplatten in verdünnte Schwefelsäure taucht und schnell wechselnde Ströme eines Induktionsapparats hindurchleitet (siehe Erkl. 125), oder auch dadurch, dass man die beiden Kupferplatten als Elektroden in einem Daniell-Element mit saurer Kupfervitriollösung benutzt. (Ausführliches über das Daniellsche Element findet man in einem späteren Abschnitt.)

Erkl. 125. Ausführliches über Induktionsapparate findet man in *Mays* Lehrbuch der Induktionselektricität.

Frage 63. Worin besteht die Einrichtung des Driveschen Zink-Kupfer-Elements?

Antwort. Das Drivesche Element ist ein Voltasches Zink-Kupfer-Element, in welchem die Kupferplatte von einer $^1/_2$ Centimeter dicken Schicht schwammigen Kupfers umgeben ist. Dieses Element ist also dem in voriger Antwort beschriebenen Element von Poggendorff ähnlich.

Frage 64. Worin besteht die Einrichtung des Zink-Eisen-Elements von Münnich?

Antwort. Das Münnichsche Element ist ein Smeesches Element, dessen platinierte Platinplatte durch eine amalgamierte Eisenplatte ersetzt ist (siehe Erkl. 126).

Erkl. 126. Um eine Eisenplatte zu amalgamieren (siehe nebenstehende Antwort), reibe man dieselbe mit Sandpapier und tröpfle während dieser Manipulation Quecksilber und verdünnte Schwefelsäure darauf, oder man tauche sie in Quecksilber, auf welchem eine Schicht verdünnter Säure schwimmt.

Frage 65. Worin besteht die Einrichtung von Niaudets Zink-Blei-Element?

Antwort. In dem Niaudetschen Zink-Blei-Element ist die Bleiplatte mit einer dünnen Schicht schwammförmigen Bleis überzogen.

Frage 66. Worin besteht die Einrichtung von Bagrations Erd-Element?

Antwort. Die Einrichtung von Bagrations Erd-Element besteht in folgendem:

Eine Zink- und eine Kupferplatte stehen in einem mit Sand gefüllten Kasten; dieser Sand ist mit verdünnter

Schwefelsäure oder mit einer Salzlösung so getränkt, dass er sich feucht anfühlt. Diese Anfeuchtung muss von Zeit zu Zeit wiederholt werden.

Soll nur ein Element zur Verwendung kommen, so kann man auch die beiden Platten einfach in die Erde eingraben und die umgebende Erde in der bezeichneten Weise anfeuchten.

Frage 67. Worin besteht das Wesentliche von Böttgers Zink-Antimon-Element?

Antwort. Das Element von Böttger enthält Zink und Antimon in verdünnter Schwefelsäure.

Frage 68. Wie ist das Zink-Element von Osann zusammengesetzt?

Antwort. Das Element von Osann besteht aus amalgamiertem Zink als positive und gewöhnlichem Zink als negative Elektrode. Die zur Verwendung kommende Flüssigkeit ist bei diesem Element eine wässerige Lösung von Zinkvitriol.

Frage 69. Worin besteht die Einrichtung des Zink-Silber-Elements von Pulvermacher?

Antwort. Die Einrichtung des Zink-Silber-Elements von Pulvermacher besteht in folgendem:

Ein poröser Thoncylinder ist mit Silberdraht eng umsponnen und enthält im Innern einen amalgamierten Zinkcylinder und eine Füllung mit verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Säure und 10 Teile Wasser), oder Kalilauge oder Salmiaklösung. Die Flüssigkeit dringt durch die porösen Wände des Thoncylinders hindurch und befeuchtet den Silberdraht.

c). Ueber die Kohle-Elemente mit einer Flüssigkeit.

Frage 70. Was versteht man unter einem Kohle-Element?

Antwort. Unter einem Kohle-Element versteht man ein solches Element, dessen negative Elektrode (siehe Antwort auf Frage 42) aus Kohle besteht.

Frage 71. Welches sind die bekanntesten Kohle-Elemente mit einer Flüssigkeit?

Antwort. Die bekanntesten Kohle-Elemente mit einer Flüssigkeit sind die folgenden:

1). *Walkers* Zink-Kohle-Elemente (siehe Antwort auf Frage 72),

2). *Böttgers* Zink-Kohle-Element (siehe Antwort auf Frage 73),
3). *Maiches* Zink-Kohle-Element (siehe Antwort auf Frage 74),
4). die Chromsäure - Elemente nach *Bunsen*, *Ducretet*, *Poggendorff*, *Loiseau*, *Partz*, *Delaurier* (siehe Antwort auf Frage 75).

Frage 72. Worin besteht die Einrichtung der Walkerschen Kohle-Elemente?

Antwort. Die Walkerschen Kohle-Elemente bestehen aus amalgamiertem Zink als positive und Kohle als negative Elektrode in verdünnter Schwefelsäure.

Nach dem Vorbilde *Smees* (siehe Antwort auf Frage 60) überzog *Walker* die Kohle auch mit Platin (siehe die Erkl. 105a, 127 und 128).

Erkl. 127. Um das Platinieren von Kohle (siehe nebenstehende Antwort) zu bewirken, wende man die Kohle als negative Elektrode eines Elements an, dessen Flüssigkeit aus einer Lösung von etwas Platinchlorid in verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Säure auf 10 Teile Wasser) besteht.

Erkl. 128. Zur Herstellung der Kohleelektroden (siehe nebenstehende Antwort) kann man nach *Bunsen* folgendermassen verfahren:

Man mische 1 Teil Steinkohle möglichst innig mit 2 Teilen Coaks, zermahle das Gemisch zu einem äusserst feinen Pulver, presse es in eine Form von Eisenblech und erhitze es so lange zur Rotglut, bis keine Dämpfe mehr entweichen. Darauf tauche man die Kohle in konzentrierten Zuckersirup und glühe sie bei Abschluss der Luft. Dieses Tränken mit Sirup und Glühen wiederhole man so lange, bis die Kohle genügend dicht geworden ist.

Oder man menge nach *Sprague* Graphit und Steinkohlenteer zu einem Teig, trockne und erhitze ihn, umgebe ihn mit Kohlenpulver und erhitze ihn kurze Zeit bei Luftabschluss zur Rotglut, tränke die erhaltene Kohle mit Sirup und verfahre dann wie oben erwähnt.

Frage 73. Worin besteht das Wesentliche des Zink-Kohle-Elements von Böttger?

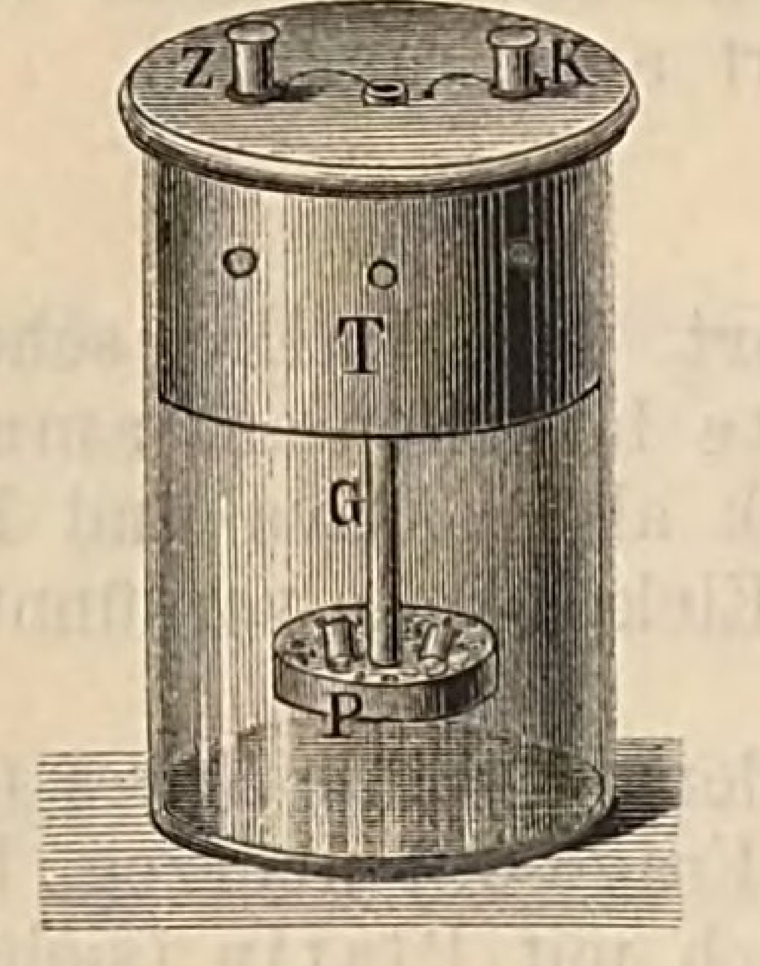
Antwort. Das Böttgersche Zink-Kohle-Element enthält ein Gemenge von 1 Teil festem Kochsalz mit 1 Teil festem Bittersalz, welches mit einer gesättigten Lösung dieser beiden Salze getränkt ist.

Frage 74. Worin besteht die Einrichtung des Zink-Kohle-Elements von Maiche?

Antwort. Die Einrichtung des Elements von Maiche besteht in folgendem:

In dem oberen Teil eines Glasgefässes, siehe Figur 43, hängt, an dem Deckel des Gefässes befestigt, ein flacher an den Seiten durchlöcherter poröser Thoncylinder *T*; derselbe ist mit platinierten

Figur 43.



Kohlenstückchen gefüllt und enthält einen Platindraht, welcher diese Kohlenstückchen mit der positiven Polklemme *K* in leitende Verbindung bringt. Durch den Thoncylinder geht ein Hartgummirohr *G*, an dessen unterem Ende ein Porzellanschälchen *P* befestigt ist. Dieses Schälchen *P* enthält Quecksilber und Zinkstücke, welche mittels eines durch die Röhre gezogenen Platindrahts mit der negativen Polklemme *Z* in Verbindung stehen. Das Glasgefäss wird entweder mit gesättigter wässeriger Lösung von Salmiak, oder von Natriumbisulfat, oder auch mit verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Säure auf 10—20 Teile Wasser) gefüllt, und zwar bis zu der Höhe, dass der Thoncylinder *T* etwa 2 Centimeter hoch in die Flüssigkeit taucht, so dass also die in dem Thoncylinder enthaltenen Kohlenstückchen zum grössten Teil nicht in der Flüssigkeit stehen, sondern nur durch Aufsaugung der darunter stehenden Flüssigkeit feucht bleiben.

Frage 75. Worin besteht die Einrichtung der bekanntesten Chromsäure-Elemente?

Figur 44.



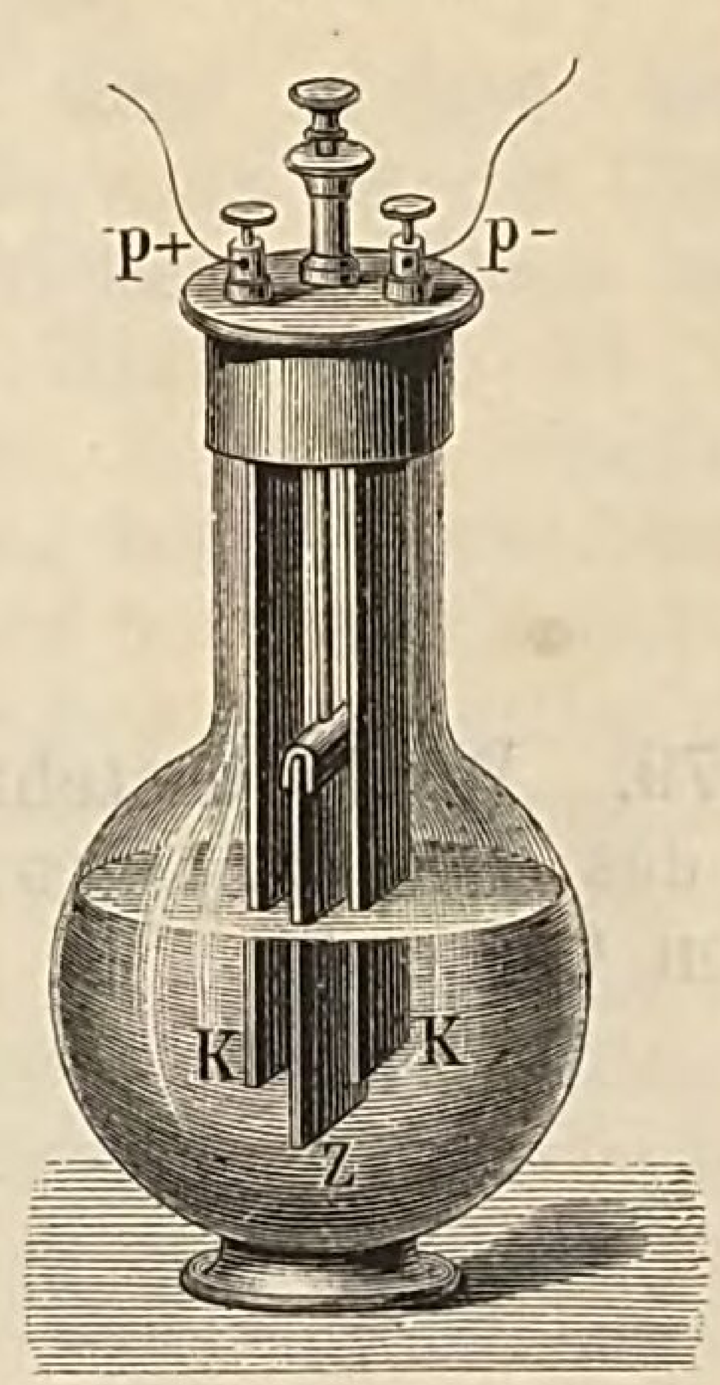
Antwort. Die Einrichtung der bekanntesten Chromsäure-Elemente, siehe die Figuren 44 und 45, besteht in folgendem:

Das Glasgefäss *G*, siehe Figur 44, ist durch einen Deckel geschlossen, welcher zwei Messingklötze m_1 und m_2 trägt. Diese beiden Messingklötze haben je eine Klemmschraube; durch die eine derselben geht ein Messingstab, an welchem die Kohlenplatte *K* in dem Gefäss *G* hängt; durch die andre Klemmschraube geht ein zweiter Messingstab, welcher eine amalgamierte Zinkplatte *Z* von $^1/_4$ der Grösse der Kohlenplatte trägt. Die Messingstäbe und die Messingklötze sind mit Guttapercha überzogen. Das Gefäss *G* ist mit einer Chromsäurelösung bis zu $^2/_3$ seiner Höhe angefüllt.

Bei einer andern Form des Chromsäure-Elements ist die amalgamierte Zinkplatte *Z*, siehe Figur 45, an dem Messingstab, welcher sie trägt, verschiebbar, so dass sie nach dem Gebrauch des Elements aus der Säure heraus in die

Höhe geschoben werden kann. *KK* sind zwei zu beiden Seiten der Zinkplatte *Z* hängende, leitend miteinander verbundene Kohlenplatten (siehe Erkl. 129).

Figur 45.



Erkl. 129. Bei den Chromsäure-Elementen (siehe nebenstehende Antwort) kommen verschieden zusammengesetzte Lösungen zur Anwendung, so wendet

Bunsen folgende Mischung an: 62 Teile doppelchromsaures Kali, 605 Teile Wasser, 116 Teile Schwefelsäure;

Ducretet fügte zu dieser Mischung noch etwa 2 Teile schwefelsaures Quecksilberoxyd, wodurch die Amalgamation des Zinks erhalten bleibt;

Poggendorff verwendet 3 Teile doppelchromsaures Kali, 4 Teile Schwefelsäure und 18 Teile Wasser;

Grenet wendet 1 Teil doppelchromsaures Kali, 10 Teile Wasser und 3 Teile Schwefelsäure an;

Loiseau wendet ein Gemisch von doppelschwefelsaurem Kali mit doppelschwefelsaurem Natron an;

Partz wendet eine Mischung an, welche aus 15 Teilen Zinkchlorid, 15 Teilen doppelchromsaurem Ammoniak und 100 Teilen Wasser besteht;

Delaurier verwendet eine Mischung von 5,4 Teilen doppelchromsaurem Kali, 5 Teilen schwefelsaurem Natron, 4 Teilen Eisenvitriol, 25 Teilen konzentrierter Schwefelsäure u. 30 Teilen Wasser.

d). Ueber die Superoxyd-Elemente mit einer Flüssigkeit.

Frage 76. Was versteht man unter einem Superoxyd-Element?

Antwort. Unter einem Superoxyd-Element versteht man ein solches Element, dessen negative Elektrode aus einem Metallsuperoxyd besteht (siehe Erkl. 129a).

Erkl. 129a. Ueber den Begriff eines „Superoxyds" findet man ausführliches in den Lehrbüchern der Kleyerschen Encyklopädie, welche über die Chemie handeln.

Frage 77. Welches sind die bekanntesten Elemente mit einer Flüssigkeit und mit negativen Elektroden aus Superoxyden?

Antwort. Die bekanntesten Elemente mit einer Flüssigkeit und mit negativen Elektroden aus Superoxyden sind die folgenden:

1). Die Bleisuperoxyd-Elemente
nach *De la Rive* (siehe Antwort auf Frage 78),
„ *Oster* etc. (siehe Antwort auf Frage 79);

2). die Braunstein-Elemente
von *Leclanché* (siehe Antwort auf Frage 80),
„ *Clark-Muirhead* (siehe Antwort auf Frage 81),
„ *Gaiffe* (siehe Antwort auf Frage 82),
„ *Howell* (siehe Antwort auf Frage 83).

Frage 78. Worin besteht die Einrichtung von De la Rives Bleisuperoxyd-Element?

Antwort. Die Einrichtung von De la Rives Bleisuperoxyd-Element besteht in folgendem:

In einem Cylinder von porösem Thon ist gepulvertes Bleisuperoxyd hineingepresst. In das Bleisuperoxyd ist ein Platinblech eingedrückt, an welchem ein Leitungsdraht angelötet ist. Dieser Cylinder steht in einem Gefäss mit verdünnter Schwefelsäure und wird von einem Cylinder umhüllt, der aus amalgamiertem Zink besteht (siehe Erkl. 105a).

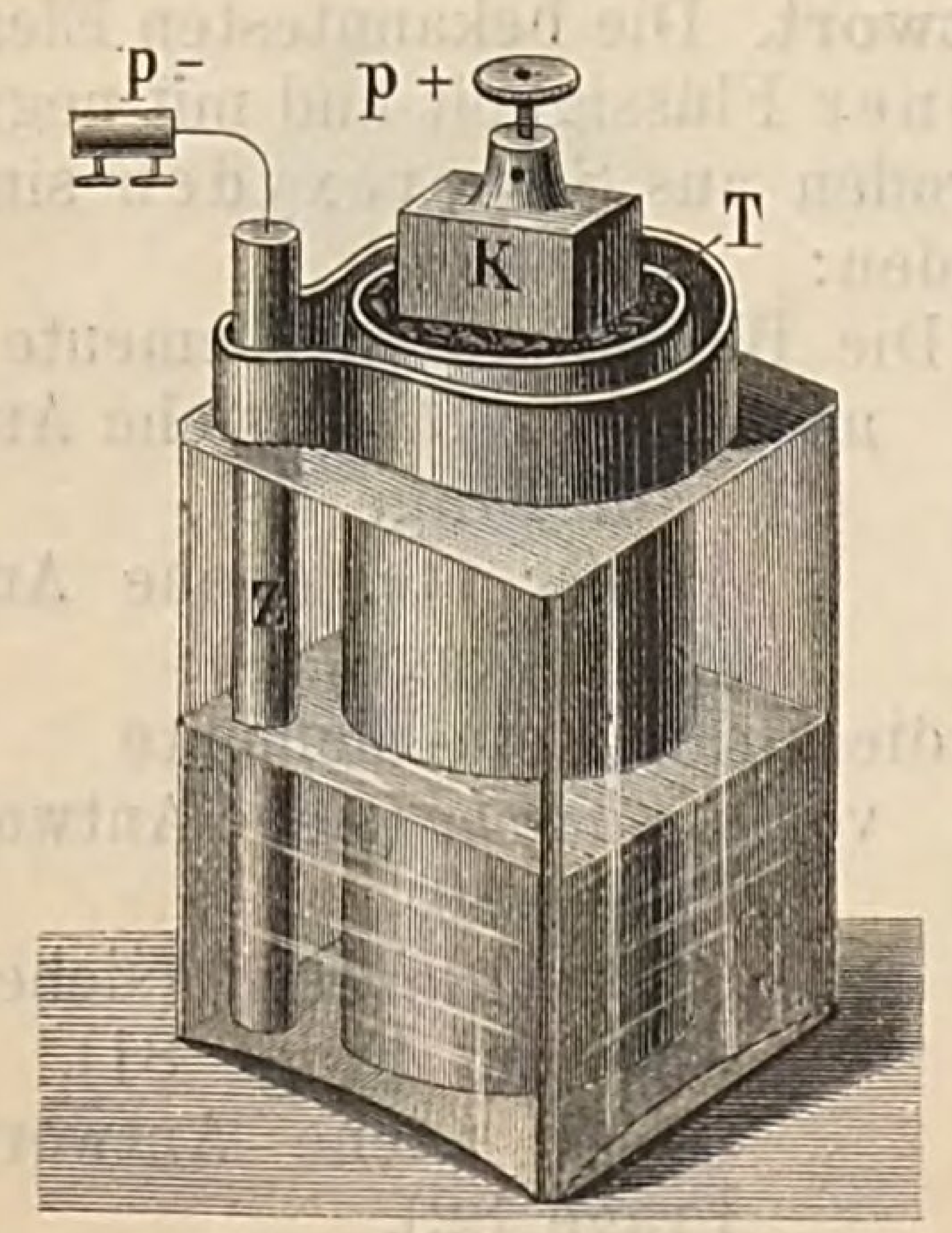
Frage 79. Worin besteht die Einrichtung des Bleisuperoxyd-Elements von Oster?

Antwort. Die Einrichtung des Bleisuperoxyd-Elements von Oster besteht in folgendem:

Eine Bleiplatte, auf welcher Bleioxyd ausgebreitet und welche mit einem passenden Stück Flanell bedeckt ist, wird zusammengerollt und bildet mit einem Zinkstab in einem Gefäss voll verdünnter Schwefelsäure ein Element. Die Bleirolle kann auch bei diesem Element in einen porösen Thoncylinder geschoben werden.

Frage 80. Worin besteht die Einrichtung der Braunstein-Elemente von Leclanché?

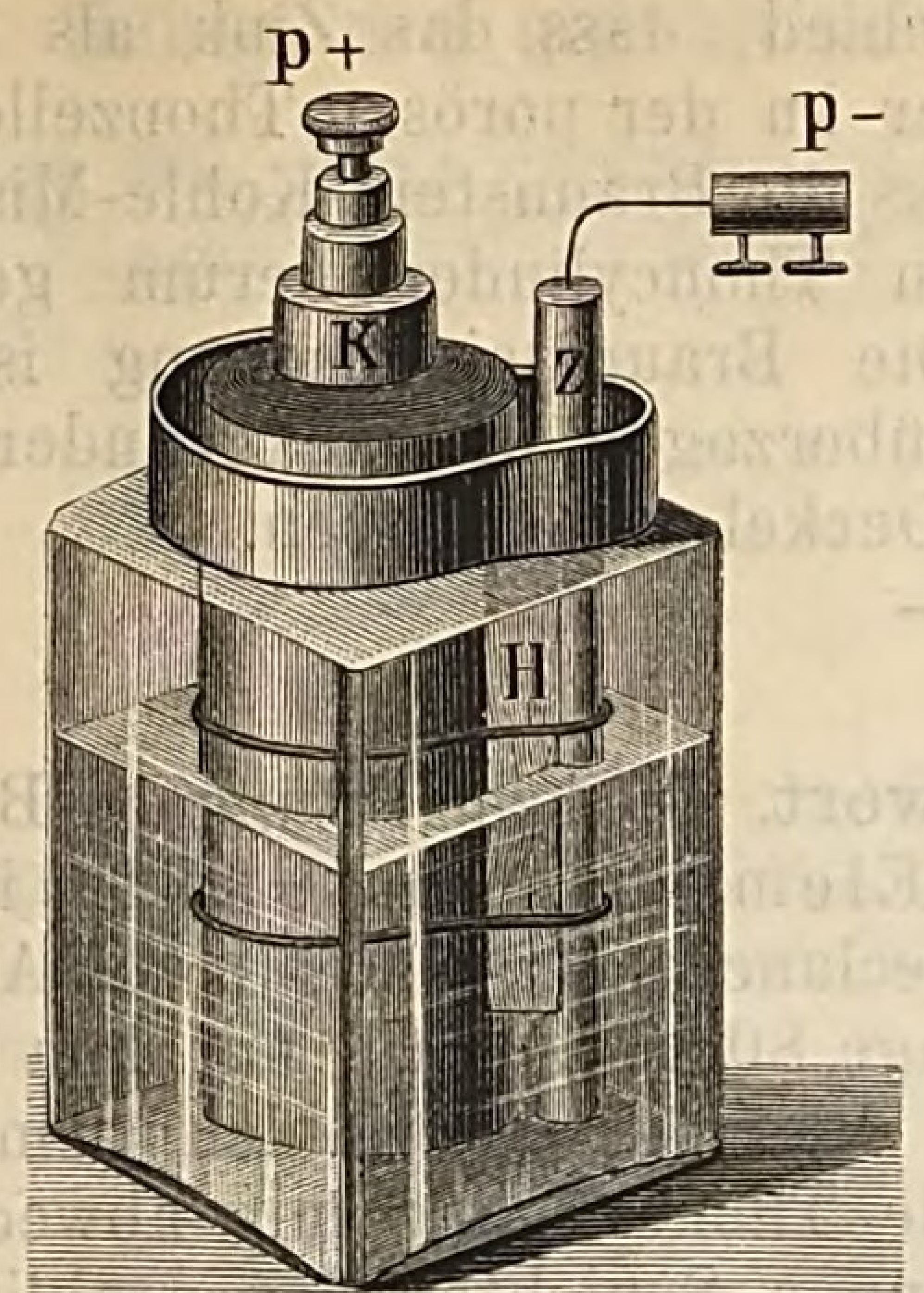
Figur 46.



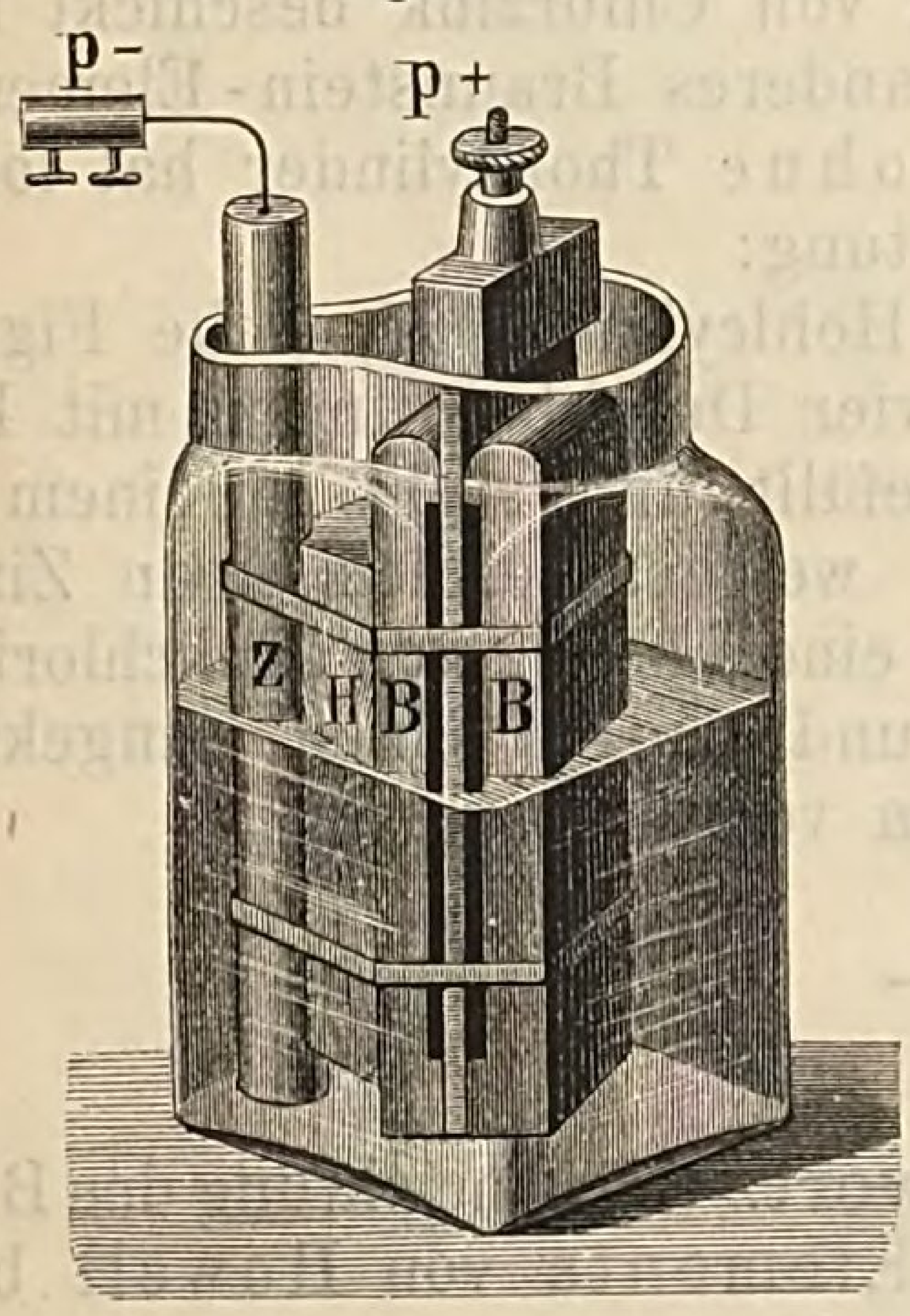
Antwort. Die Einrichtung der Braunstein-Elemente von Leclanché besteht in folgendem:

1). Ein poröser Thoncylinder *T*, siehe Figur 46, enthält ein prismatisches Stück Kohle *K*, welches oben eine Polklemme $p+$ trägt, und ist mit einem Gemisch von Braunstein (siehe Erkl. 130) und Retortenkohle gefüllt (siehe Erkl. 131). Die Oeffnung des Cylinders ist, bis auf eine kleine Oeffnung, durch welche die Luft entweichen kann, mit Wachs oder Harz zugeschmolzen. Dieser Thoncylinder steht in der Mitte eines Glasgefässes, an dessen einer Seite in einer passenden Ausbuchtung ein amalgamierter, die Polklemme $p-$ tragender Zinkstab *Z* steht. Der Thoncylinder und das Glasgefäss werden mit gesättigter Salmiaklösung gefüllt. Der runde Hals des im übrigen viereckigen Glasgefässes ist gerade so gross, dass der Thoncylinder

Figur 47.



Figur 48.



eben hineinpasst. Auch die Ausbuchtung, in welcher der Zinkstab steht, schliesst sich dem letzteren möglichst genau an, so dass Thoncylinder und Zinkstab ihre Stellung nicht verändern und die Verdunstung der Flüssigkeit vermindert wird.

2). Bei einer zweiten Art des Leclanché-Elements ist ein Cylinder verwendet, welcher aus einem Gemisch von 40 Teilen Braunstein, 55 Teilen Retortenkohle, 5 Teilen Schellack und 3 bis 4 Teilen doppeltschwefelsaurem Kali besteht, und bei 100° Celsius und einem Druck von 300 Atmosphären zusammengepresst ist. An diesem Braunsteincylinder *K*, siehe Figur 47, ist, durch ein passendes Holzstäbchen *H* isoliert, ein Zinkstab *Z* mittels zweier Gummibänder befestigt. Das Ganze steht in einem Glasgefäss, welches mit der gesättigten Salmiaklösung gefüllt ist.

3). Bei einer dritten Art des Leclanché-Elements befindet sich in der Mitte des Glasgefässes ein flaches Kohlenprisma, auf dessen beiden Seiten die Platten *BB*, siehe Figur 48, welche auf die unter 2). bezeichnete Weise erhalten sind, und ein durch einen Holzstab *H* von der Platte *B* isolierter Zinkstab *Z* durch Gummibänder befestigt sind.

Erkl. 130. Braunstein (Pyrolusit) ist Mangansuperoxyd, welches als Mineral in der Natur vorkommt.

Erkl. 131. Retortenkohle ist eine Kohle, welche sich bei der Leuchtgasfabrikation an den Wänden der Gasretorten ablagert.

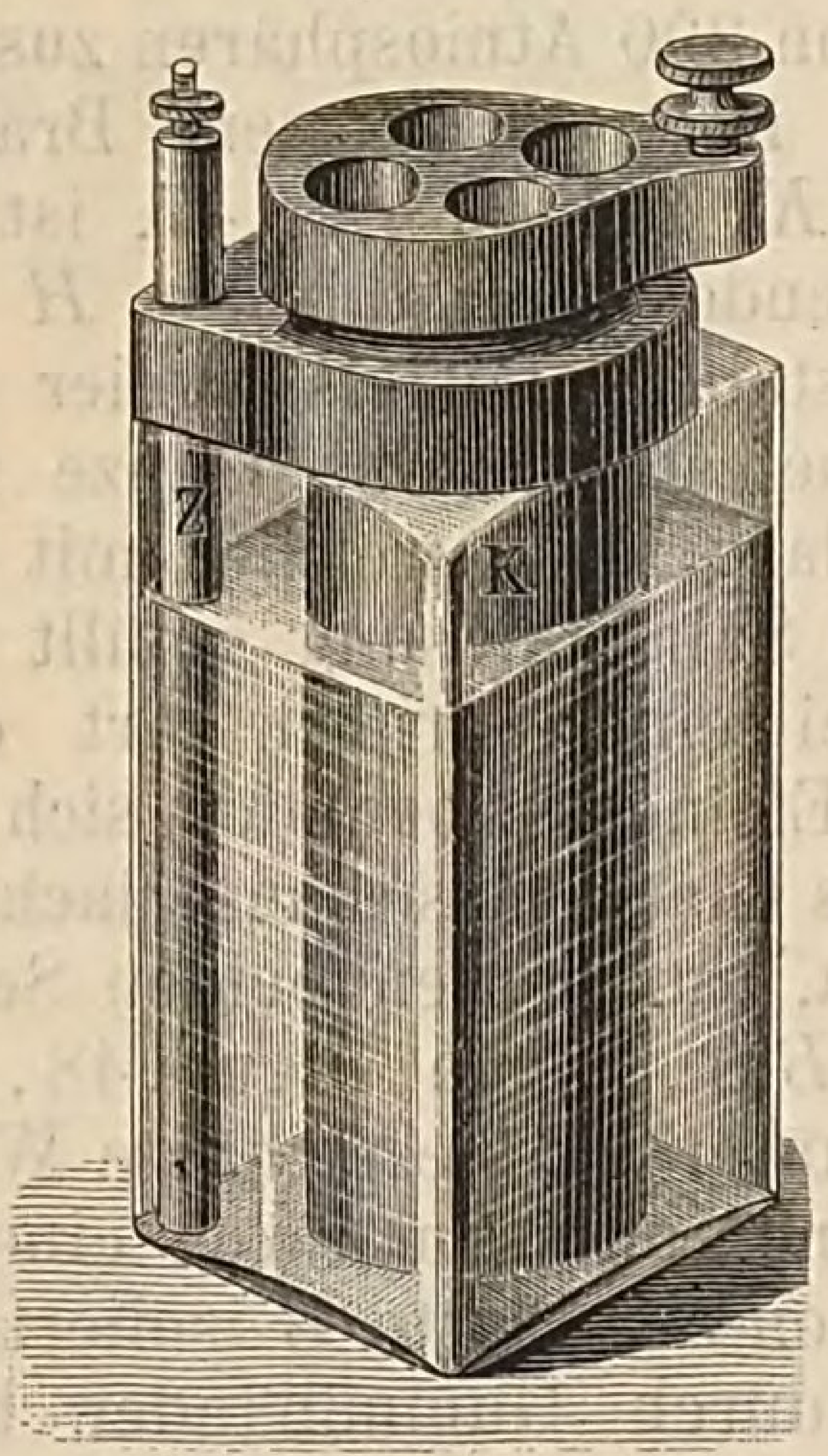
Frage 81. Worin besteht die Einrichtung des Braunstein-Elements von Clark-Muirhead?

Antwort. Die Einrichtung des Braunstein-Elements von Clark-Muirhead ist diejenige eines Leclanché-Elements, wie es in voriger Antwort unter 1). beschrieben ist, mit dem Unterschied, dass das Kohlenprisma und die dem Braunstein beigemischte Kohle platiniert sind

(siehe Erkl. 127), und mit dem weiteren Unterschied, dass das Zink als hohler Cylinder in der porösen Thonzelle steht und dass die Braunstein-Kohle-Mischung um den Thoncylinder herum gelagert ist. Die Braunsteinmischung ist mit Wachs überzogen, der Zinkcylinder durch einen Deckel verschlossen.

Frage 82. Worin besteht die Einrichtung der Braunstein-Elemente von Gaiffe?

Figur 49.



Antwort. Die Einrichtung der Braunstein-Elemente von Gaiffe ist die eines Leclanché-Elements [siehe Antwort auf Frage 80 unter 1).], mit dem Unterschied, dass der das Kohlenprisma enthaltende Thoncylinder mit abwechselnden dünnen Schichten von gröblich gestossener Kohle und von Braunstein gefüllt und dass das Element mit einer Lösung von Chlorzink beschickt ist.

Ein anderes Braunstein-Element von *Gaiffe* ohne Thoncylinder hat folgende Einrichtung:

Der Hohlcylinder *K*, siehe Figur 49, ist in vier Durchbohrungen mit Braunstein gefüllt und steht in einem Glasgefäss, welches seitlich einen Zinkstab *Z* und eine Lösung von Zinkchlorid enthält, und durch einen eingekitteten Pfropfen verschlossen ist.

Frage 83. Worin besteht die Einrichtung des Braunstein-Elements von Howell?

Antwort. Die Einrichtung des Braunstein-Elements von Howell besteht in folgendem:

Ein amalgamierter konischer, nach unten dicker werdender Zinkcylinder steht in einem porösen Thoncylinder, welcher etwas Quecksilber enthält und mit einer Lösung von schwefelsaurem Ammoniak gefüllt ist. Das Ganze steht, umgeben von einem mit mehreren Längsschlitzen versehenen Steingutcylinder, in einem Glasgefäss. Der Raum zwischen dem Steingutcylinder und dem Glasgefäss enthält einen Kohlenstab und ist mit einem Gemisch von Braunstein und Kohle gefüllt, auf welchem sich eine Schicht von kohlensaurem oder schwefelsaurem Mangan befindet.

C). Ueber die galvanischen Elemente mit zwei Flüssigkeiten.

Frage 84. Was versteht man unter einem Element mit zwei Flüssigkeiten?

Antwort. Unter einem Element mit zwei Flüssigkeiten versteht man ein solches Element, bei welchem die beiden Elektroden in zwei verschiedene, sich berührende Flüssigkeiten eintauchen (siehe Antwort auf Frage 40).

Frage 85. Welches sind die bekanntesten Elemente mit zwei Flüssigkeiten?

Antwort. Die bekanntesten Elemente mit zwei Flüssigkeiten sind die folgenden:

1). Das Zink-Kupfer-Element von *Becquerel* (siehe Antw. auf Frage 86),
2). die Zink-Kupfer-Elemente von *Daniell* (siehe die Antworten auf die Fragen 87 und 88),
3). das Normal-Daniell-Element von *Buff* (siehe Antwort auf Frage 89),
4). das Normal-Daniell-Element von *Raoult* (siehe Antw. auf Frage 90),
5). die Daniell-Elemente von *Siemens* (siehe Antwort auf Frage 91),
6). das Daniell-Element von *Trouvé* (siehe Antwort auf Frage 92),
7). das Daniell-Element von *Minotto* (siehe Antwort auf Frage 93),
8). das Daniell-Element von *Reynier* (siehe Antwort auf Frage 94),
9). das Daniell-(Tassen-)Element von *Thomson* (siehe Antw. auf Frage 95),
10). die Daniell-Elemente von *Meidinger* (siehe Antwort auf Frage 96),
11). das Daniell-Element von *Callaud* (siehe Antwort auf Frage 97),
12). das Daniell-Element von *Candido* (siehe Antwort auf Frage 98),
13). das Daniell-Element von *Pincus* (siehe Antwort auf Frage 99),
14). die Daniell-Elemente von *Varley* (siehe Antwort auf Frage 100),
15). das Normal-Daniell-Element von *Lodge* (siehe Antw. auf Frage 101),
16). die Zink-Platin-Elemente von *Grove* (siehe Antwort auf Frage 102),
17). das Grove-Element von *Callan* (siehe Antwort auf Frage 103),
18). das Zink-Kohle-Element von *Bunsen* (siehe Antwort auf Frage 104),

19). die Zink-Eisen-Elemente von *Schönbein*, *Callan*, *Uelsmann* (siehe Antwort auf Frage 105),
20). das Bunsen-Element von *Faure* (siehe Antwort auf Frage 106),
21). die Bunsen-Elemente mit Chromsäuremischungen von *Bunsen*, *Poggendorff*, *Buff* (siehe Antwort auf Frage 107),
22). das Kupfer-Kohle-Element von *Thomsen* (siehe Antw. auf Frage 108),
23). die Eisenchlorid-Elemente von *Guignet*, *Buff*, *Gérardin* (siehe Antwort auf Frage 109),
24). das Eisenvitriol-Element von *Delaurier* (siehe Antw. auf Frage 110),
25). das Eisen-Kohle-Element von *Ponci* (siehe Antwort auf Frage 111),
26). das Pikrinsäure-Element von *Duchemin* (siehe Antwort auf Frage 112),
27). das Kaliumpermanganat-Element von *Koosen* (siehe Antwort auf Frage 113),
28). das Chlorkalk-Element von *Niaudet* (siehe Antwort auf Frage 114),
29). das Aluminium-Element von *Wöhler* (siehe Antwort auf Frage 115),
30). das Quecksilbersulfat-Element von *Marié Davy* (siehe Antwort auf Frage 116),
31). das Chlorsilber-Element von *Warren de la Rue* und *Müller* (siehe Antwort auf Frage 117),
32). das Chlorsilber-Element von *Pincus* (siehe Antwort auf Frage 118),
33). das Chlorsilber-Element von *Gaiffe* (siehe Antwort auf Frage 119),
34). das Quecksilberoxyd-Element von *Scrivanoff* (s. Antw. auf Frage 120),
35). das Zink-Quecksilber-Element von *Latimer Clark* (siehe Antwort auf Frage 121).

Frage 86. Worin besteht die Einrichtung von Becquerels Zink-Kupfer-Element?

Erkl. 131ª. *Antoine Cesar Becquerel* ist am 8. März 1788 zu Châtillon-sur-Loing geboren. Er war Professor der Physik zu Paris und starb am 19. Januar 1878.

Antwort. Die Einrichtung von Becquerels Zink-Kupfer-Element besteht in folgendem:

Ein Glaskasten ist durch Goldschlägerhaut (siehe Erkl. 133) in zwei Abteilungen getrennt. In der einen Abteilung befindet sich die Kupferelektrode in einer Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd,

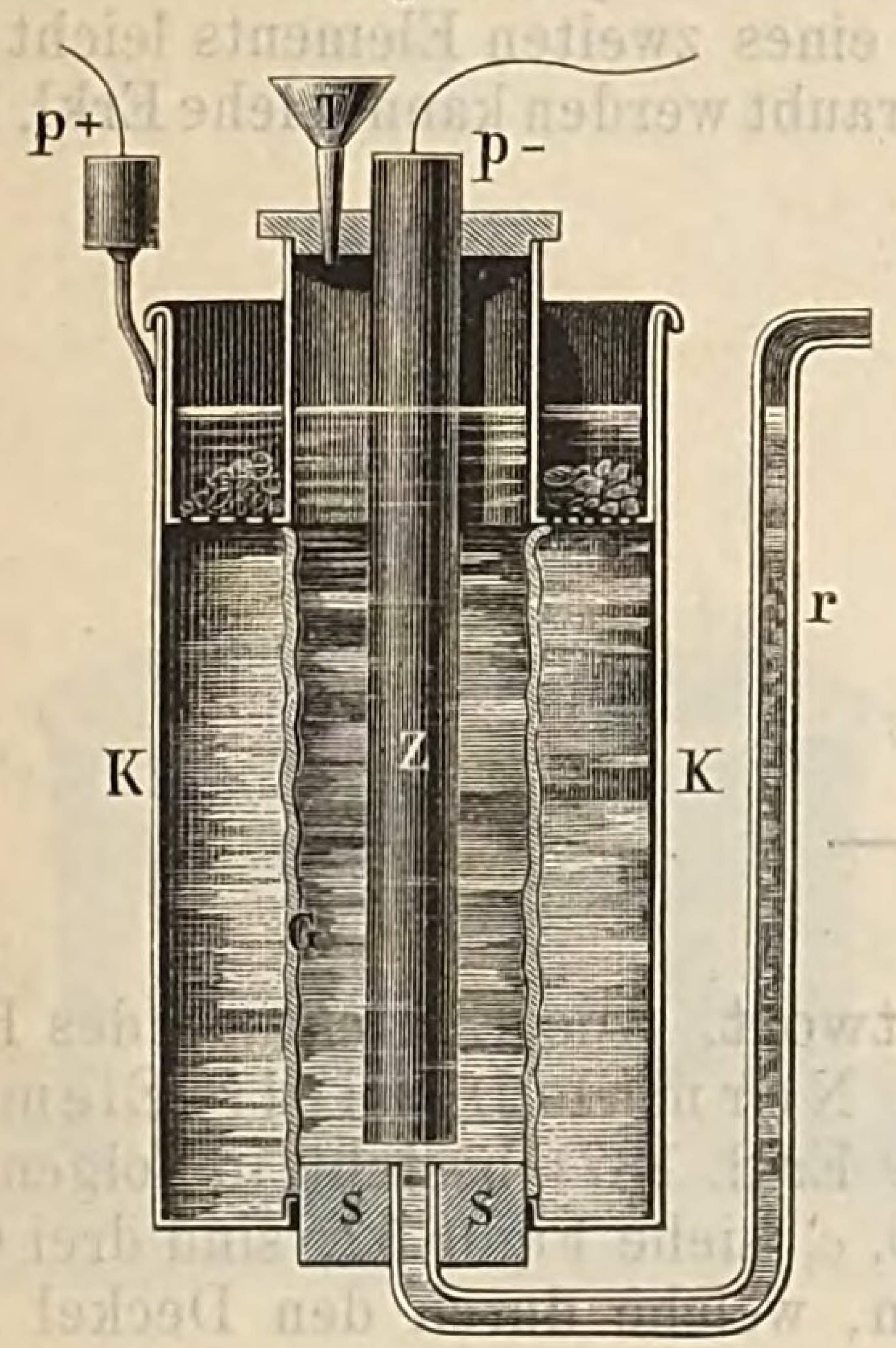
in der andern Abteilung die Zinkelektrode in einer Lösung von Zinkvitriol (siehe die Erkl. 131[a] und 132).

Erkl. 132. Das in nebenstehender Antwort beschriebene Element wurde im Jahre 1829 angegeben.

Erkl. 133. Goldschlägerhaut ist die Haut vom Blinddarm des Rindviehs, welche für den Zweck der Goldschlägerei besonders zubereitet ist.

Frage 87. Worin besteht die Einrichtung des ersten Zink-Kupfer-Elements von Daniell?

Figur 50.



Antwort. Die Einrichtung des ersten Zink-Kupfer-Elements von Daniell besteht in folgendem (siehe Erkl. 134):

In einem Kupfercylinder *K*, siehe Figur 50, hängt eine Ochsengurgel *G*, welche unten durch den Kork *S* verschlossen ist. Der Kork *S* ist in der Mitte durchbohrt und trägt das gebogene Glasrohr *r*, welches bis zum oberen Rande des Kupfercylinders hinaufgeht. In der Ochsengurgel *G* hängt der amalgamierte Zinkcylinder *Z*. Die Ochsengurgel ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, welche durch den Trichter *T* fortwährend erneuert wird, während ein entsprechender Teil der Flüssigkeit durch das Rohr *r* abfliesst (siehe Erkl. 135). Der Kupfercylinder *K* ist mit konzentrierter Kupfervitriollösung gefüllt und trägt in seinem oberen Teil ein Sieb, auf welchem Kristalle von Kupfervitriol lagern, wodurch die Konzentration der Lösung stets erhalten bleibt. $p+$ und $p-$ sind die beiden Pole, welche Quecksilbernäpfchen zum Einlegen von Leitungsdrähten tragen.

Erkl. 134. Das in nebenstehender Antwort beschriebene Element wurde im Jahre 1836 angegeben.

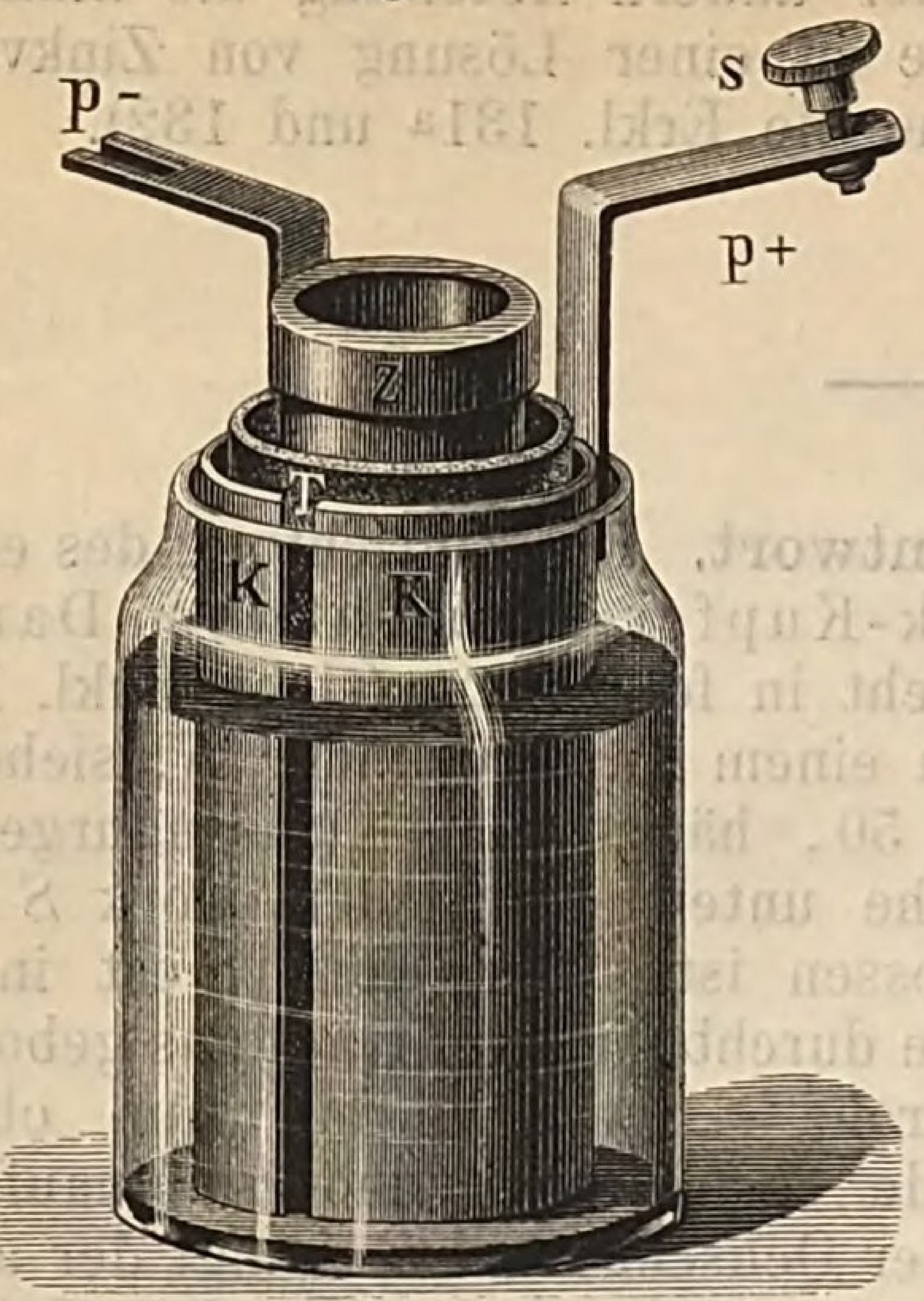
Erkl. 135. Das durch Auflösen des Zinks in der Schwefelsäure gebildete schwefelsaure Zink (Zinkvitriol) sinkt infolge seiner spezifischen Schwere nach unten. Wird nun, wie in nebenstehender Antwort beschrieben, durch den Trichter *T*, siehe Figur 50, frische Schwefelsäure zugefügt, so fliesst das schwefelsaure Zink, welches sich im unteren Teil der Ochsengurgel befindet, durch das Rohr *r* aus; das Element enthält somit stets eine gleichmässig reine Schwefelsäure.

Frage 88. Worin besteht die Einrichtung des abgeänderten Daniellschen Elements?

Antwort. Daniell änderte das in voriger Antwort beschriebene Element ab und gab ihm folgende Einrichtung:

In einem porösen Thoncylinder *T*, siehe Figur 51, steht ein amalgamierter Zinkcylinder *Z*, welcher einen angelöteten,

Figur 51.

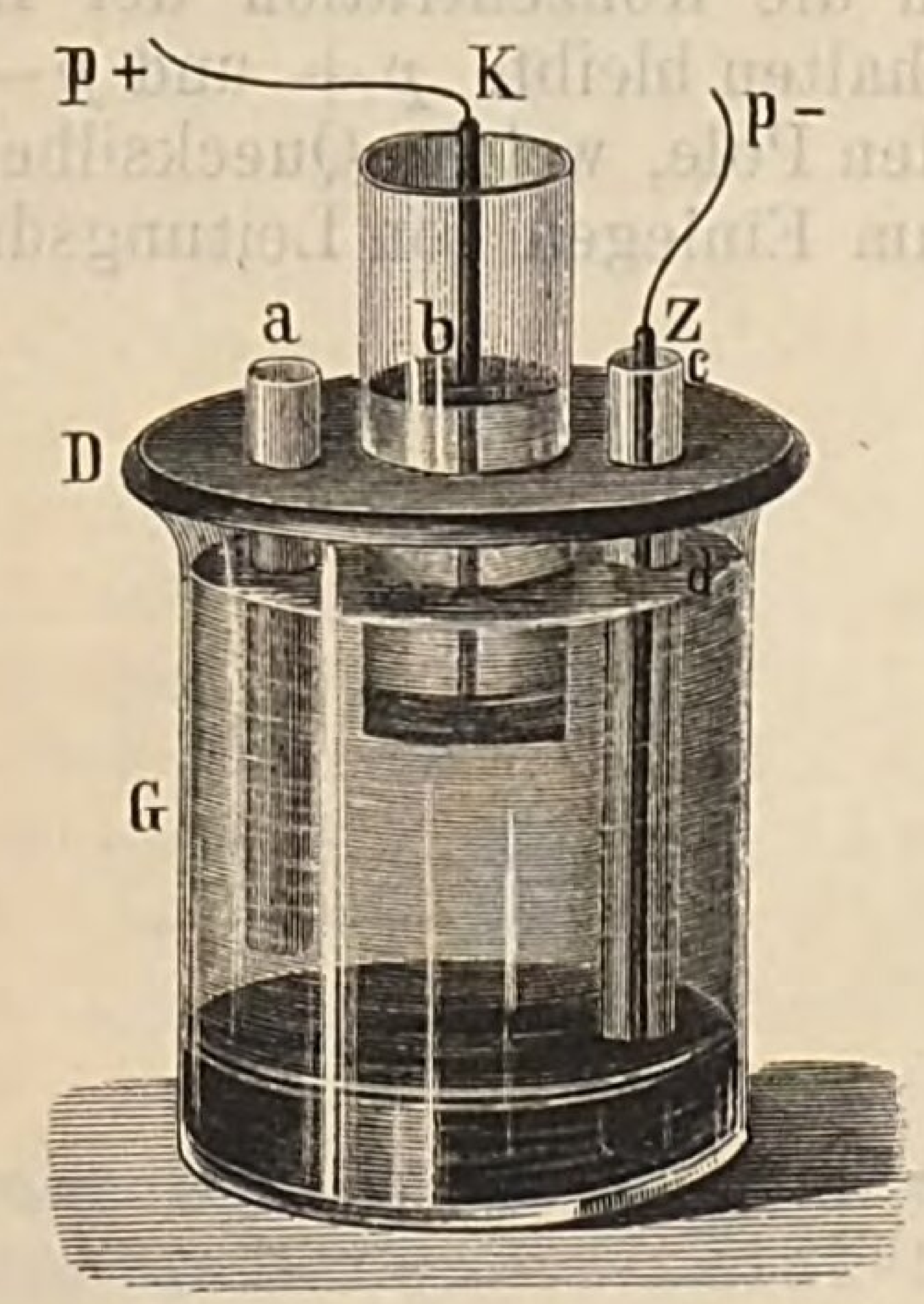


bei $p-$ geschlitzten Kupferstreifen trägt. Der Thoncylinder ist mit verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Säure auf 10 bis 20 Teile Wasser) gefüllt und steht, umhüllt von einem cylinderförmig gebogenen Kupferblech K, in einem Glasgefäss, welches mit konzentrierter Kupfervitriollösung gefüllt ist und einige Kristalle von Kupfervitriol enthält. Das Kupferblech K trägt einen Kupferstreifen $p+$, welcher durch die Schraube S an den geschlitzten Kupferstreifen der Zinkelektrode eines zweiten Elements leicht festgeschraubt werden kann (siehe Erkl. 136).

Erkl. 136. Statt der verdünnten Schwefelsäure kann man in dem Daniellschen Element (siehe nebenstehende Antwort) auch Zinkvitriol oder Kochsalz anwenden.

Frage 89. Worin besteht die Einrichtung des Buffschen Normal-Daniell-Elements?

Figur 52.



Erkl. 137. Unter einem Normal-Element (siehe Antwort auf Frage 89, 90 und 121) versteht man ein Element, welches vermöge seiner, sich während einer gewissen Zeit nicht oder nur wenig ändernden, elektrischen Eigenschaften zur Vergleichung (als Massstab) der elektromotorischen Kraft anderer Elemente eignet.

Antwort. Die Einrichtung des Buffschen Normal-Daniell-Elements (siehe Erkl. 137) besteht in folgendem: a, b, c, siehe Figur 52, sind drei Glasröhren, welche durch den Deckel D in das Glasgefäss G verschieden tief hineinreichen. Das Glasgefäss erhält eine Schicht Quecksilber, welche durch die Röhre c eingegossen und so hoch ist, dass sie die untere Oeffnung von c schliesst. Durch das Rohr a, dessen untere Oeffnung nicht von dem Quecksilber bedeckt ist, wird das Gefäss G mit einer Lösung von Zinkvitriol gefüllt. Das Glasrohr b, welches in die Zinkvitriollösung etwas eintaucht, ist unten mit tierischer Blase, Pergamentpapier oder porösem Thon geschlossen und enthält eine Lösung von Kupfervitriol und einen in diese Lösung eintauchenden Kupferdraht k, welcher mit dem Leitungsdraht $p+$ verbunden ist. In das Rohr c taucht bis auf den Boden des Gefässes G ein Zinkdraht Z, welcher mit dem Leitungsdraht $p-$ verbunden ist (siehe Erkl. 138).

Ausführliches darüber findet man in einem späteren Abschnitt.

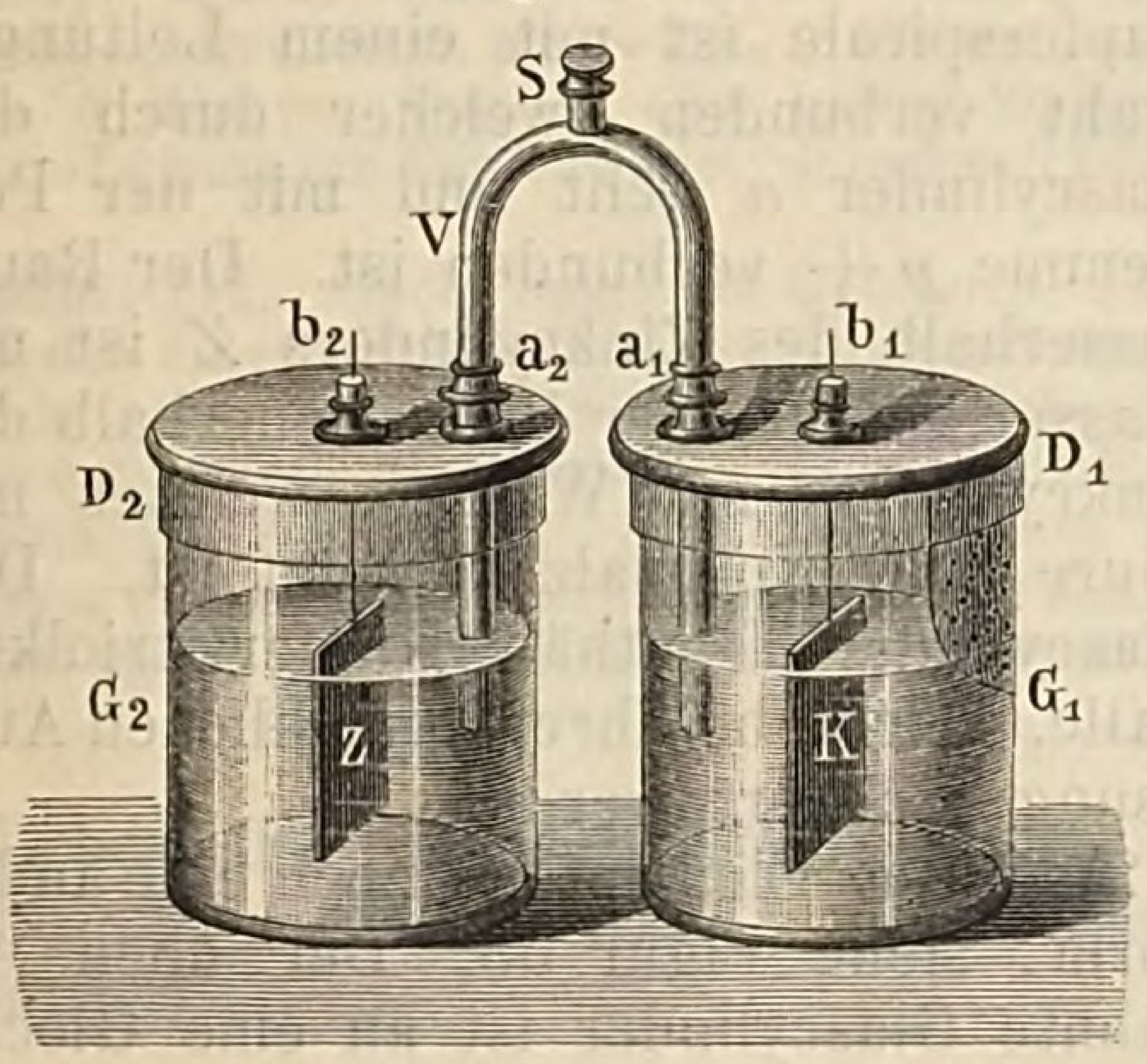
Erkl. 138. Die Wirkungsweise des in nebenstehender Antwort beschriebenen Elements beruht darauf, dass das Quecksilber etwas von dem Zink des Zinkdrahts Z zu Zinkamalgam löst, welches alsdann die positive Elektrode des Elements bildet.

Frage 90. Worin besteht die Einrichtung des Normal-Daniell-Elements von Raoult?

Antwort. Die Einrichtung des Normal-Daniell-Elements von Raoult besteht in folgendem (siehe Erkl. 137):

G_1 und G_2, siehe Figur 53, sind zwei Glasgefässe, welche durch Glasdeckel D_1 und D_2 bedeckt sind. Die Glasdeckel sind mit Hälsen a_1 a_2 und b_1 b_2 versehen; durch die Hälse a_1 a_2 geht etwa bis zur Mitte der Glasgefässe ein ∩förmig gebogenes Glasrohr V, welches oben eine durch einen Glasstöpsel verschlossene Oeffnung S besitzt. Die beiden in die Glasgefässe reichenden Schenkel dieses Rohres V sind durch mit schwarzem Siegellack angekittete poröse Thonscheiben verschlossen. Durch den Hals b_1 geht ein in einem Glasrohr eingeschlossener Kupferdraht, an dessen unterem Ende eine Kupferplatte K angeschraubt ist; durch den Hals b_2 geht ebenfalls ein in einem Glasrohr eingeschlossener Kupferdraht, an dessen unterem Ende eine Zinkplatte Z angeschraubt ist. Das Glasgefäss G_1 ist mit einer gesättigten Lösung von chemisch reinem Kupfervitriol, das Glasgefäss G_2 mit einer Lösung von 1 Teil chemisch reinem Zinkvitriol in 1 Teil Wasser, beide etwa zur Hälfte gefüllt. In dem Gefäss G ist oben ein durchlöchertes Porzellansieb angebracht, welches mit Kupfervitriolkristallen gefüllt ist und in die Flüssigkeit des Gefässes etwas eintaucht. Nachdem das Element zusammengesetzt ist, wird die Röhre V durch die Oeffnung S mit der erwähnten Zinkvitriollösung gefüllt und der Hals alsdann durch den Glasstöpsel geschlossen (siehe Erkl. 139).

Figur 53.

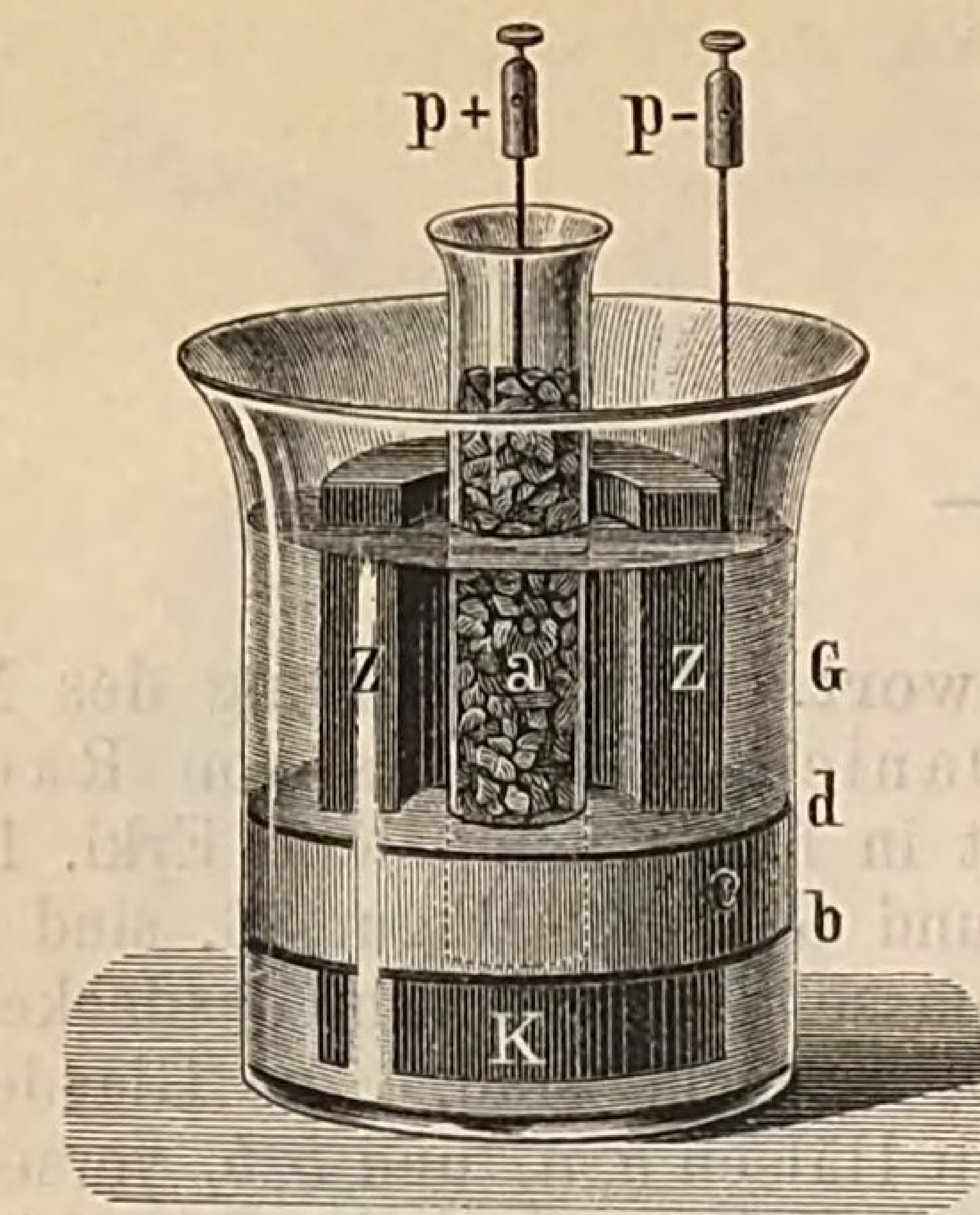


Erkl. 139. Bei dem in nebenstehender Antwort erwähnten Element kann die Röhre V, siehe Figur 53, auch durch eine ebenso geformte Röhre ersetzt werden, welche an Stelle der Thonverschlüsse zwei zu feinen (kapillaren) Oeffnungen ausgezogene Enden besitzt.

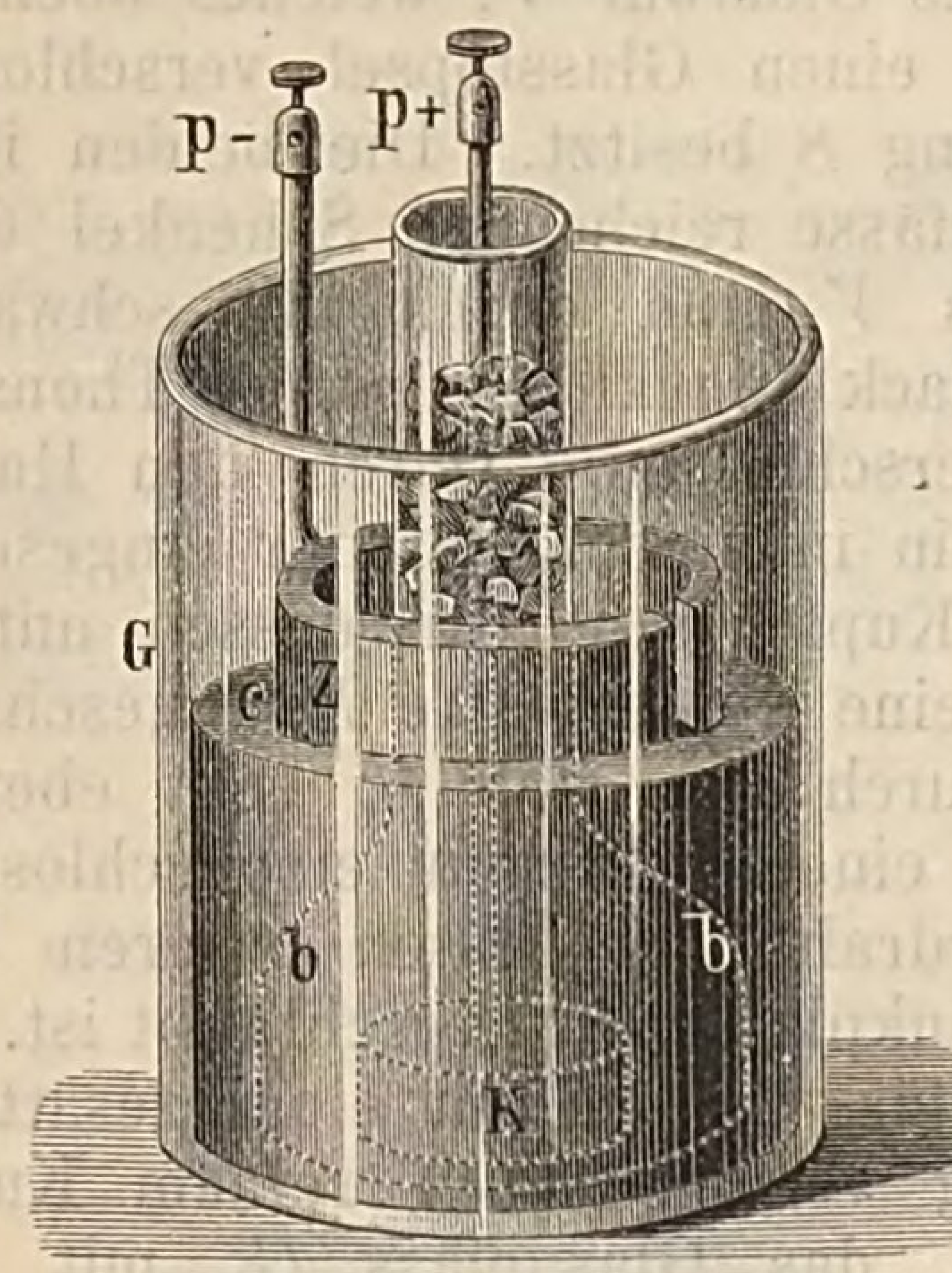
Frage 91. Worin besteht die Einrichtung der Siemensschen Daniell-Elemente?

Antwort. Die Einrichtung der Siemensschen Daniell-Elemente besteht in folgendem:

Figur 54.



Figur 55.



Erkl. 140. Die in nebenstehender Antwort erwähnte poröse Papiermasse wird hergestellt wie folgt:

Gewöhnliche Papiermasse, wie sie in den Papierfabriken gewonnen wird, presse man stark aus und knete sie mit $^1/_4$ ihres Gewichts an konzentrierter Schwefelsäure so lange durch, bis sie eine gleichmässige Zähigkeit gewonnen hat. Alsdann knete man sie mit dem vierfachen Quantum Wasser durch und entferne mittels einer Presse das Wasser. Die so erhaltene Masse forme man zu Scheiben, welche genau zwischen das Glasgefäss *G*, siehe Figur 54, und den Glascylinder *a* hineinpassen.

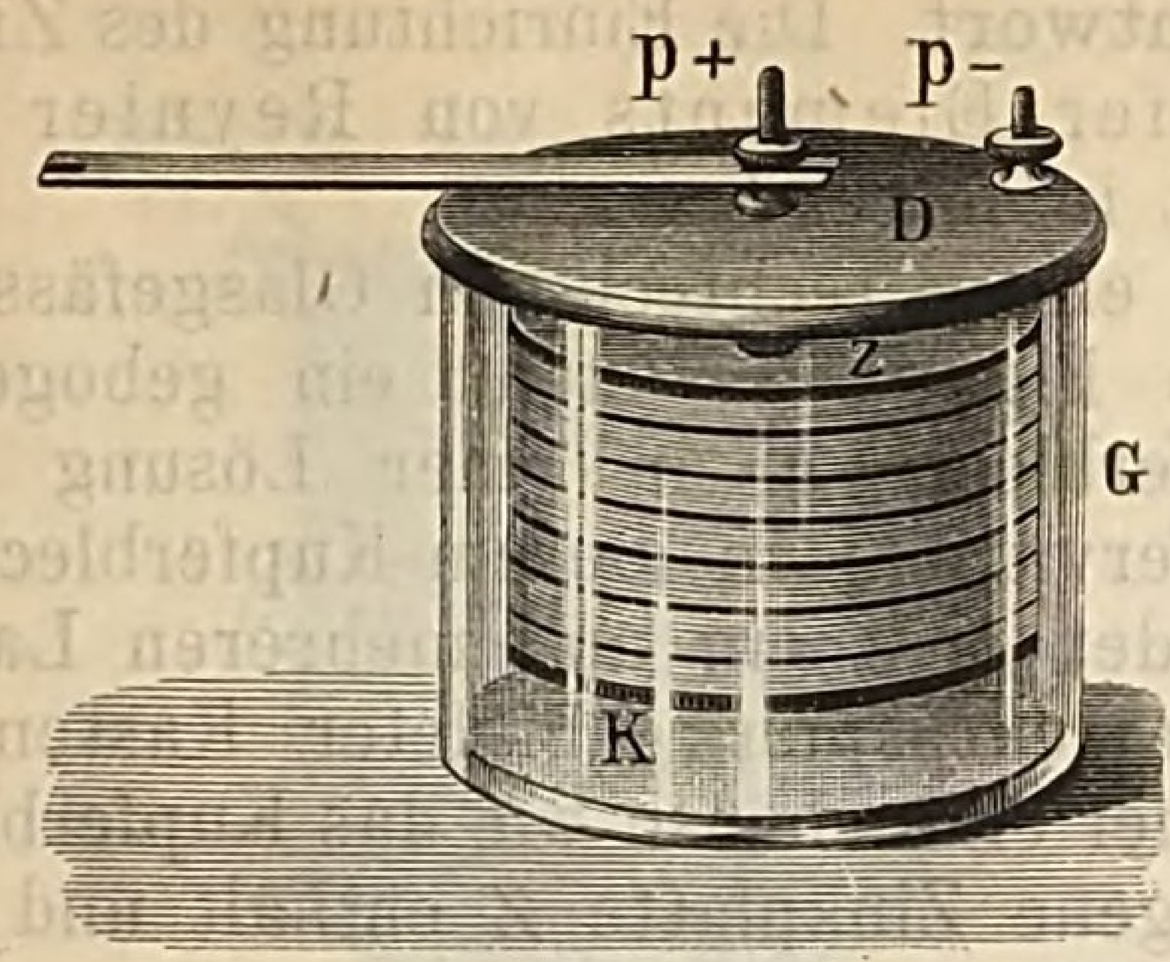
1). Auf dem Boden des Glasgefässes *G*, siehe Figur 54, liegt ein spiralförmig zusammengerolltes Kupferblech *K*. Auf dieser Spirale steht ein unten etwas erweiterter Glascylinder *a*, über welchen ein passend ausgeschnittener Ring *b* von Pappendeckel geschoben ist. Dieser Ring *b* ist bedeckt mit einem dicken Ring *c* aus poröser Papiermasse (siehe Erkl. 140), welche genau an das Glasgefäss *G* und an den Glascylinder *a* anschliesst. Auf diesem Papierring *c* liegt ein lockeres Gewebe *d*, und auf letzterem steht der nicht amalgamierte Zinkcylinder *Z*, welcher einen mit der Polklemme *p* — verbundenen Leitungsdraht trägt. Die Kupferspirale ist mit einem Leitungsdraht verbunden, welcher durch den Glascylinder *a* geht und mit der Polklemme *p* + verbunden ist. Der Raum ausserhalb des Zinkcylinders *Z* ist mit Wasser gefüllt; der Raum innerhalb des Zinkcylinders mit Wasser, welches mit Säure oder Kochsalz versetzt ist. Der Glascylinder *a* enthält Kupfervitriolkristalle, welche bei ihrer allmählichen Auflösung erneuert werden.

2). Dieses Element hat noch eine andre Form, siehe Figur 55: Der oben erwähnte Glascylinder ist an eine Glocke *b* von porösem Thon gekittet, welche die Kupferspirale *K* umschliesst. Ueber der Glocke befindet sich die poröse Papiermasse *c* und auf dieser steht der Zinkcylinder *Z*; im übrigen ist dieses Element ebenso eingerichtet, wie das unter 1). beschriebene und durch Figur 54 dargestellte.

Frage 92. Worin besteht die Einrichtung des Daniell-Elements von Trouvé?

Antwort. Die Einrichtung des Daniell-Elements von Trouvé besteht in folgendem:

Figur 56.



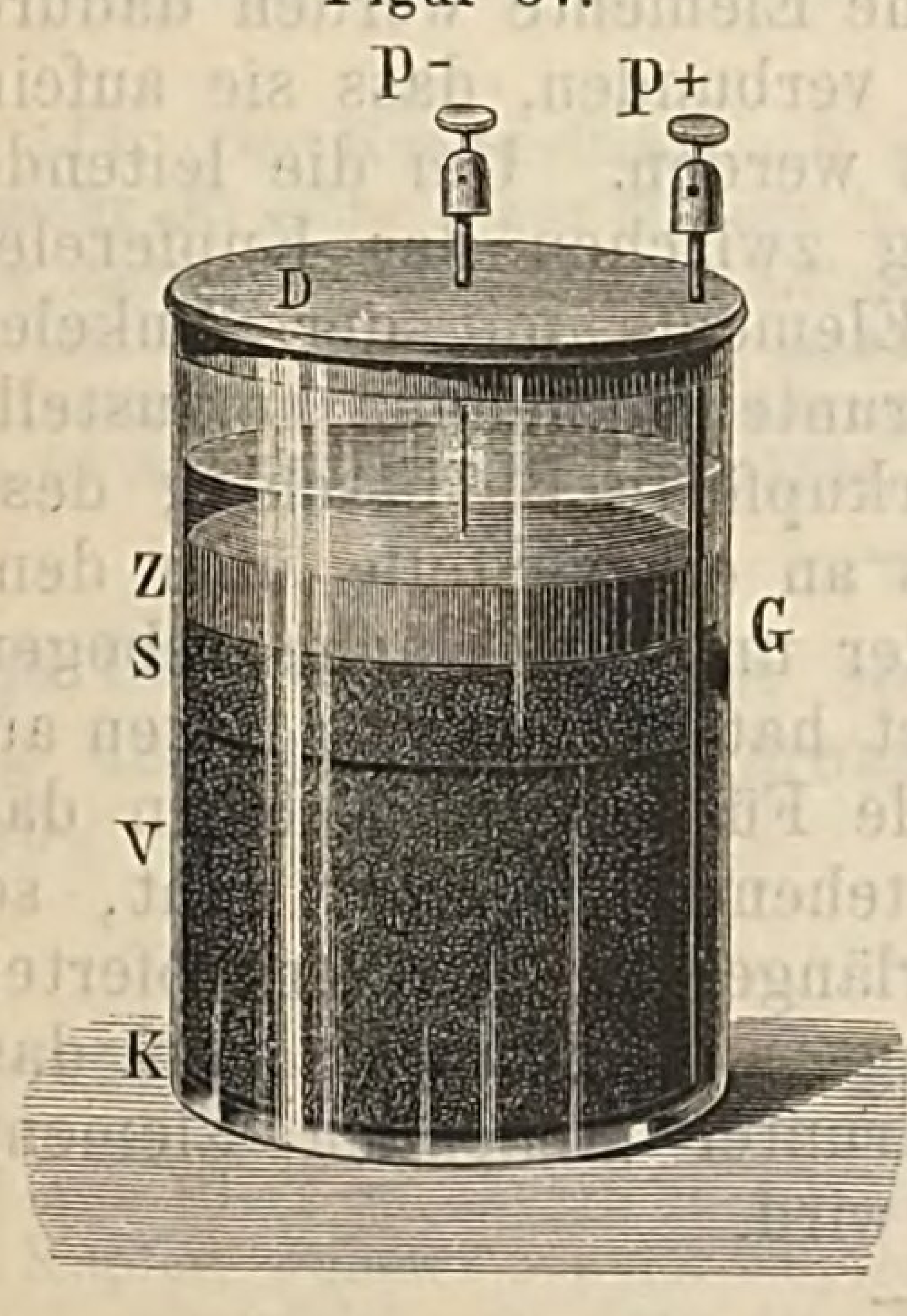
Erkl. 141. Um das in nebenstehender Antwort beschriebene Element, nachdem es verbraucht ist, wieder herzustellen (zu regenerieren), tauche man die untere Hälfte der Löschpapierscheiben einige Zeit in Wasser, alsdann 5 Minuten lang in eine heisse konzentrierte Lösung von Kupfervitriol (siehe Erkl. 142).

Erkl. 142. Nach längerem Gebrauch füllt sich die untere Hälfte der Löschpapierscheiben des in nebenstehender Antwort beschriebenen Elements durch die Wirkung des elektrischen Stroms mit Zinkvitriol. Durch Eintauchen in Wasser (siehe vorige Erklärung) wird der Zinkvitriol gelöst und aus den Scheiben entfernt.

An einem mit Gummischlauch überzogenen Kupferdraht ist eine runde Kupferscheibe *K* angelötet. Auf den Kupferdraht ist eine grössere Anzahl von Löschpapierscheiben aufgesteckt, von welchen die untere, der Kupferscheibe benachbarte Hälfte mit Kupfervitriollösung, die darüber liegende Hälfte mit Zinkvitriollösung getränkt ist. Ueber diese Papierscheiben ist eine Zinkscheibe *Z* auf den Kupferdraht gesteckt und das obere Ende des Kupferdrahts ist mit der auf einer runden Platte *D* von Schiefer oder Hartgummi befestigten Polklemme $p+$ leitend verbunden. Die Zinkplatte *Z* steht mit der Polklemme $p-$ in leitender Verbindung. Dieses Element wird beim Gebrauch mit Wasser getränkt, so dass die Löschpapierscheiben feucht (nicht nass) sind, und wird alsdann in das Glasgefäss *G* gesetzt, wobei die Platte *D* als Deckel dient (siehe die Erkl. 141 und 142).

Frage 93. Worin besteht die Einrichtung des Daniell-Elements von Minotto?

Figur 57.



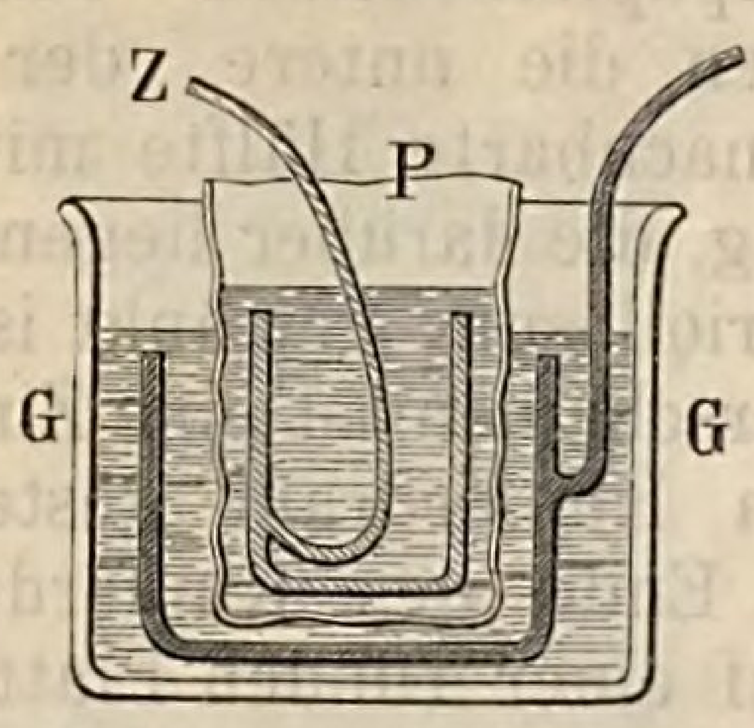
Erkl. 143. Nach *Wiedemann* ist es vielleicht empfehlenswert, bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Element die Kupfervitriolschicht von der Sandschicht durch ein Blatt Pergamentpapier zu trennen.

Antwort. Die Einrichtung des Daniell-Elements von Minotto besteht in folgendem:

Auf dem Boden des Glasgefässes *G*, siehe Figur 57, liegt eine Kupferscheibe oder Kupferdrahtspirale *K*, welche durch einen mit Gummischlauch überzogenen Kupferdraht mit der Polklemme $p+$ verbunden ist. Das Glasgefäss enthält ferner zu unterst eine Schicht pulverisierten Kupfervitriol *V*, darüber eine Schicht Sägespähne oder auch einen kalkfreien Quarzsand *S* (siehe Erkl. 143), darauf eine runde Zinkplatte *Z*, welche mit der Polklemme $p-$ leitend verbunden und mit Wasser überdeckt ist, welches vorsichtig eingegossen werden muss, damit keine Vermischung der Bestandteile stattfindet. Das Gefäss *G* ist durch den mit zwei Hälsen zum Durchlassen der Leitungsdrähte versehenen Deckel geschlossen.

Frage 94. Worin besteht die Einrichtung des Zink-Kupfer-Elements von Reynier?

Figur 58.

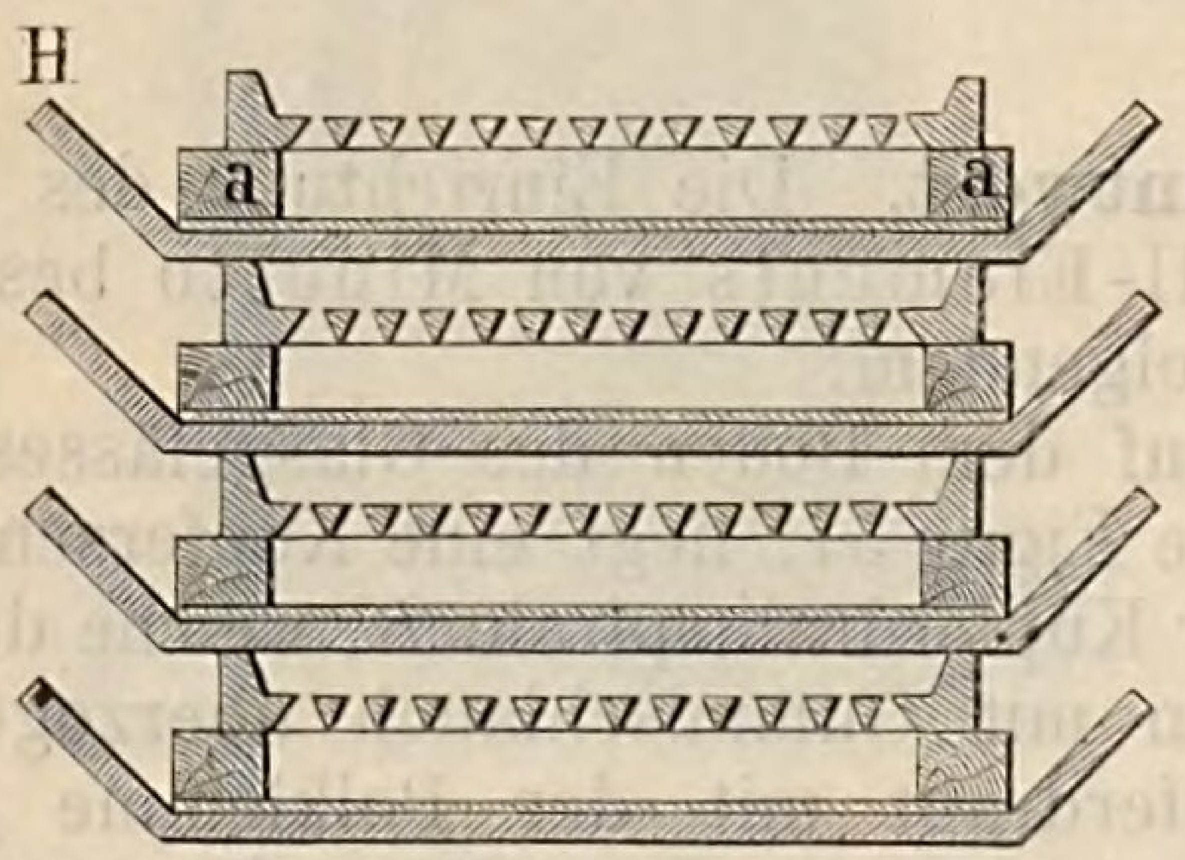


Antwort. Die Einrichtung des Zink-Kupfer-Elements von Reynier besteht in folgendem:

In einem rechteckigen Glasgefäss *G*, siehe Figur 58, steht ein gebogenes Kupferblech *K* in einer Lösung von Kupfervitriol. In diesem Kupferblech *K* befindet sich ein aus mehreren Lagen Pergamentpapier gebildeter Kasten *P*, welcher eine ebenso wie das Kupferblech gebogene Zinkplatte *Z* enthält und mit Natronlauge gefüllt ist.

Frage 95. Worin besteht die Einrichtung des Tassen-Elements, und worin diejenige der Tassen-Säule von Thomson?

Figur 59.



Antwort. Die Einrichtung des Thomsonschen Tassen-Elements besteht in folgendem:

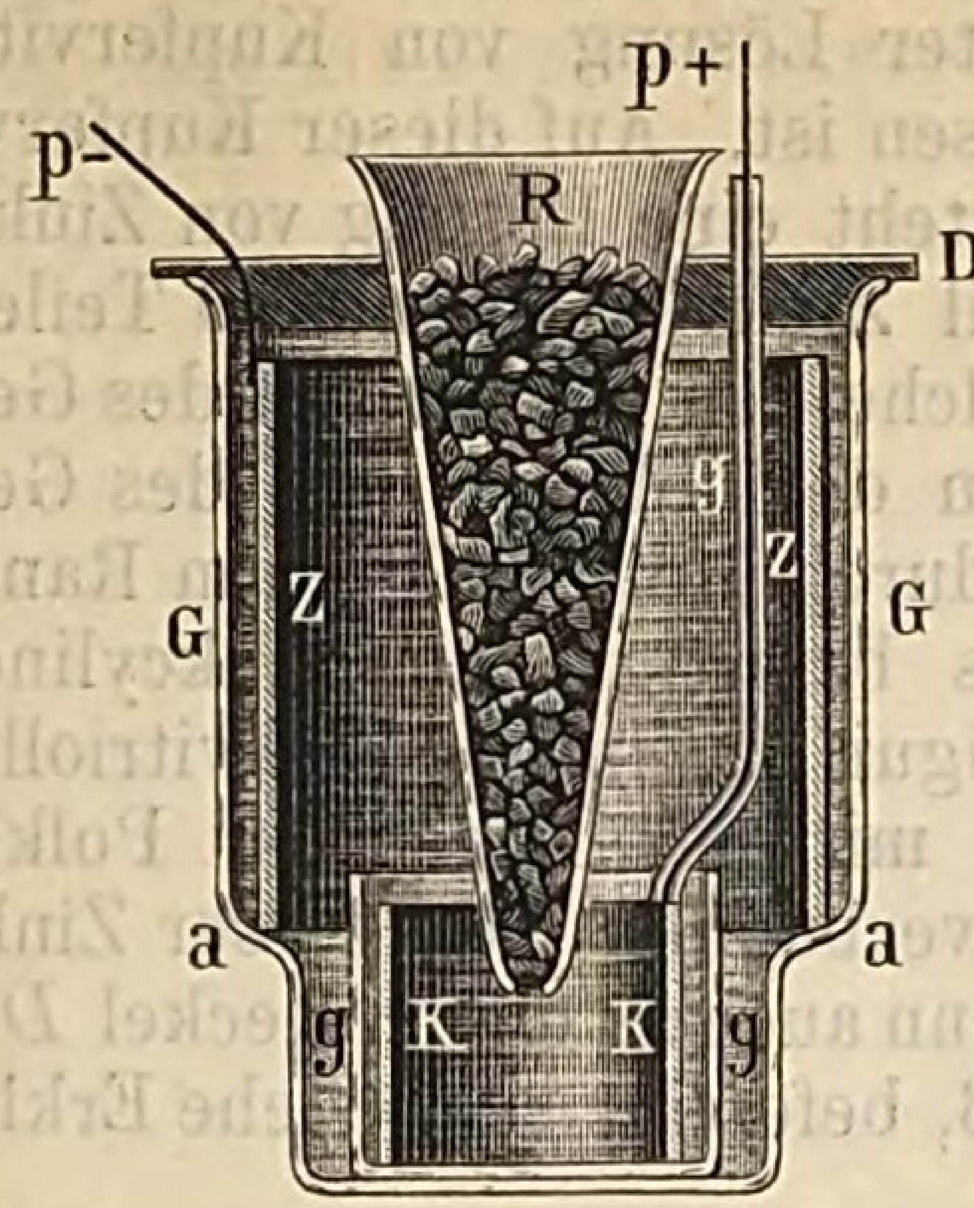
Ein flacher Holzkasten *H*, siehe Figur 59, ist mit einer verkupferten Bleiplatte ausgeschlagen und enthält, durch vier Holzklötzchen *a* von der Bleiplatte isoliert, einen gegossenen Rost aus Zink, welcher über ein an den Rändern aufgebogenes Pergamentpapier gelagert ist. Auf den Boden des Kastens werden Krystalle von Kupfervitriol geschichtet; der Raum innerhalb des Pergamentpapiers wird mit Zinkvitriollösung gefüllt.

Solche Elemente werden dadurch zur Säule verbunden, dass sie aufeinander gestellt werden. Um die leitende Verbindung zwischen der Kupferelektrode eines Elements mit der Zinkelektrode des darunter stehenden herzustellen, ist der verkupferte Bleibeschlag des Holzkastens an einer Stelle über den Rand nach der unteren Fläche gebogen; der Zinkrost hat an den vier Ecken aufwärts stehende Füsse, auf welchen das darüber stehende Element ruht, so dass die Verlängerung des verkupferten Bleibeschlags des Elements auf das Zink des darunter stehenden Elements gepresst wird.

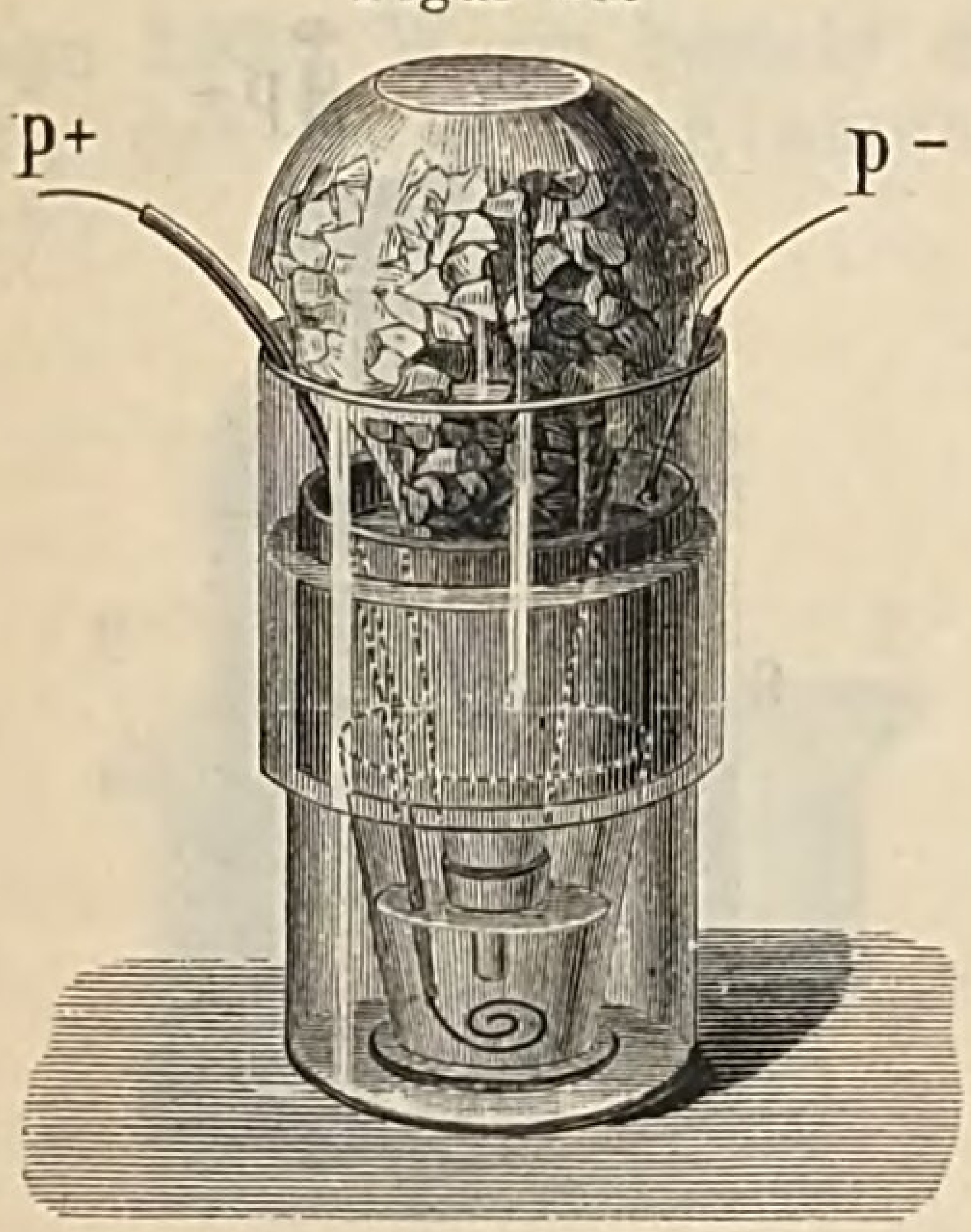
Frage 96. Worin besteht die Einrichtung der Daniell-Elemente von Meidinger?

Antwort. Die Einrichtung der Daniell-Elemente von Meidinger besteht in folgendem:

Figur 60.



Figur 61.



1). Ein Zinkcylinder *Z*, siehe Figur 60, steht in dem bei *a* etwas enger werdenden Glasgefäss *G* und trägt einen angelöteten kupfernen Leitungsdraht oder Streifen *p* —. Auf dem Boden des Gefässes *G* steht in der Mitte ein kleines Gefäss *g*, und in diesem befindet sich ein Kupfercylinder oder eine Kupferspirale *K*, an welche der mit Gummischlauch überzogene Leitungsdraht *p* + angelötet ist. In den Deckel *D* des Gefässes *G* ist durch einen Einschnitt die Glasröhre *R* derart eingesetzt, dass sie mit ihrem unteren Ende, an welchem sie eine kleine Oeffnung besitzt, in das Gefäss *g* hineinreicht. Das Gefäss *G* ist mit Wasser oder mit einer verdünnten Lösung von Bittersalz gefüllt, das Glasrohr *R* mit Kristallen von Kupfervitriol (siehe Erkl. 144).

2). Statt des Glasrohrs *R*, siehe Figur 60, wird auch, um eine grössere Menge Kupfervitriol auf einmal in dem Element unterbringen zu können, ein Glasballon angewendet, der am unteren Ende eine Oeffnung hat, in welche mittels eines paraffinierten Gummistöpsels eine in das, die Kupferelektrode enthaltende, auf dem Boden des grossen Glasgefässes stehende kleine Gefäss reichende Glasröhre eingesetzt ist. Das Element hat dann die in Figur 61 dardargestellte Form.

Erkl. 144. Der Kupfervitriol, mit welchem das Glasrohr *R*, siehe Figur 60, des in nebenstehender Antwort beschriebenen Elements gefüllt ist, löst sich allmählich auf, sinkt in das Gefäss *g* und verdrängt daraus die spezifisch leichtere Flüssigkeit (siehe Erkl. 135).

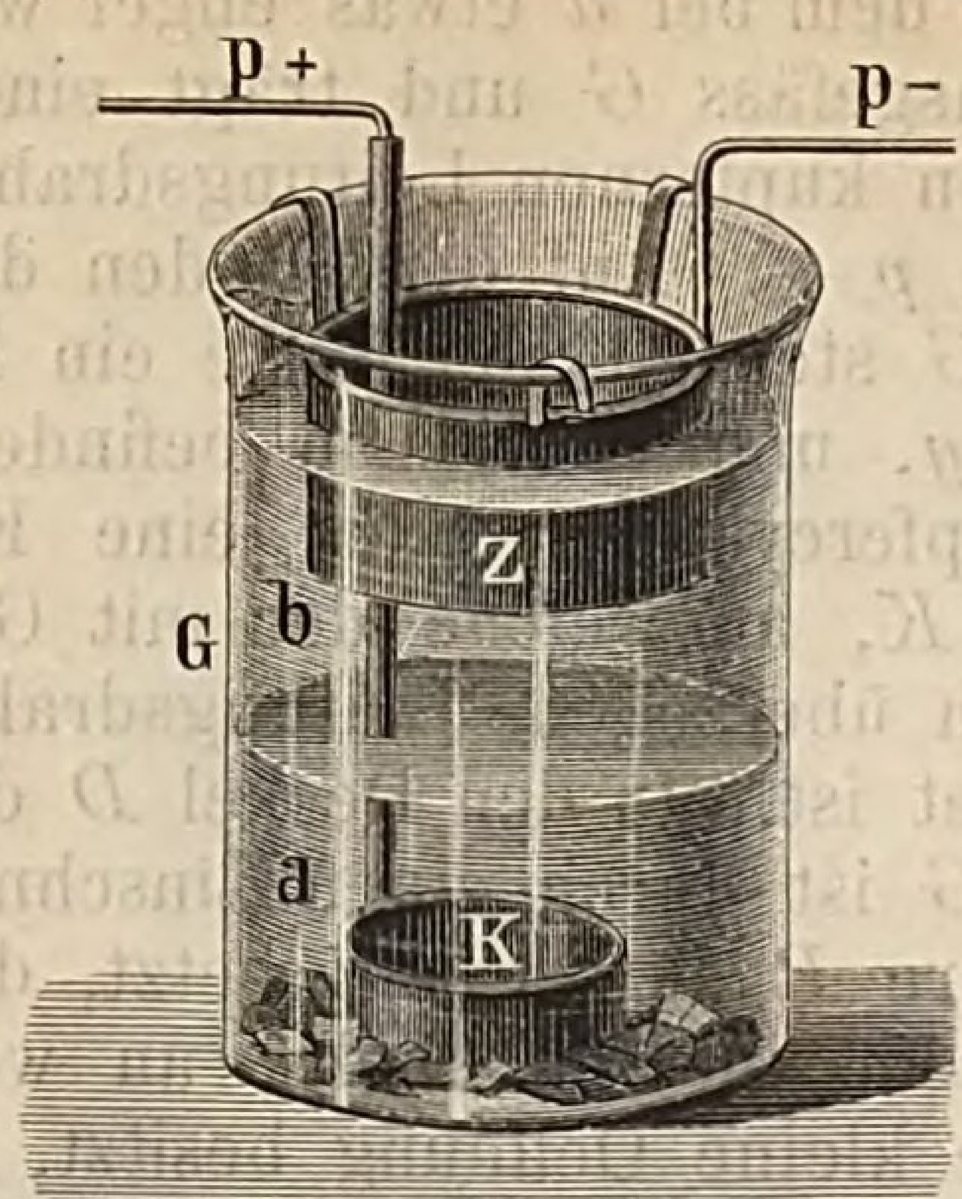
Frage 97. Worin besteht die Einrichtung des Daniell-Elements von Callaud?

Antwort. Die Einrichtung des Daniell-Elements von Callaud besteht in folgendem:

Auf dem Boden des Gefässes *G*, siehe die Figuren 62 und 63, steht ein niedriger Kupfer- oder Bleicylinder oder eine Kupferdrahtspirale *K* (siehe Erkl. 145), welche durch einen mit Gummischlauch umhüllten Kupferdraht mit dem positiven Pol verbunden ist. Der Boden des Gefässes ist mit einer Schicht Kupfervitriolkristalle bedeckt, welche bis über

Erkl. 145. Besteht die negative Elektrode des Callaud-Elements (siehe nebenstehende Antwort) aus Blei, so überzieht sie sich sehr bald mit Kupfer, welches aus der Kupfervitriollösung sich abscheidet, so dass dies Element ebenfalls ein Zink-Kupfer-Element bildet (siehe Erkl. 146).

Figur 62.

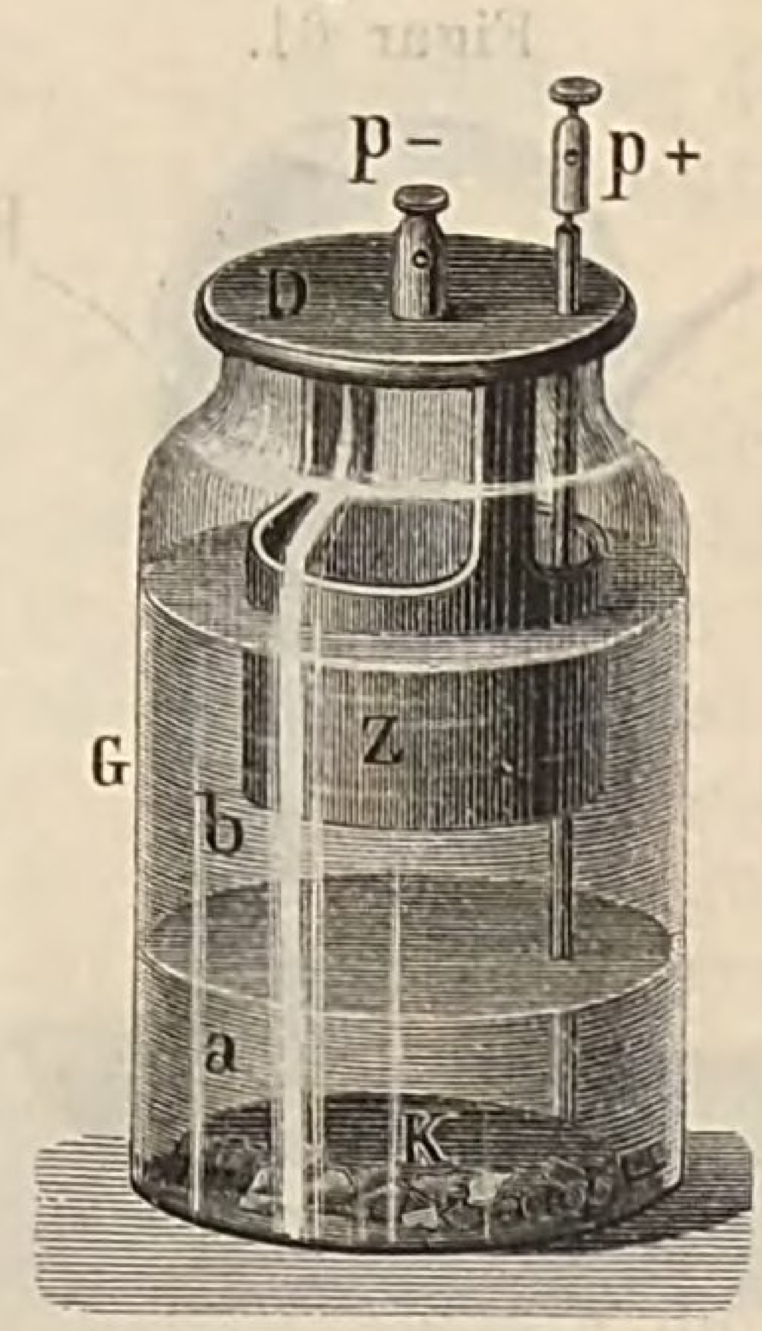


Erkl. 146. Ausführliches über die in voriger Erklärung erwähnte Abscheidung von Metallen auf anderen Metallen findet man in einem späteren Abschnitt.

Erkl. 147. Die Füllung des in nebenstehender Antwort beschriebenen Elements muss derart geschehen, dass sich die beiden Lösungen nicht mischen. Um dies zu erreichen, fülle man zuerst die Zinkvitriollösung ein, senke dann ein mit Trichter versehenes Glasrohr bis auf den Boden des Gefässes und giesse durch dasselbe die Kupfervitriollösung ein, so verdrängt dieselbe, weil sie spezifisch schwerer ist, die Zinkvitriollösung, ohne sich mit ihr zu mischen.

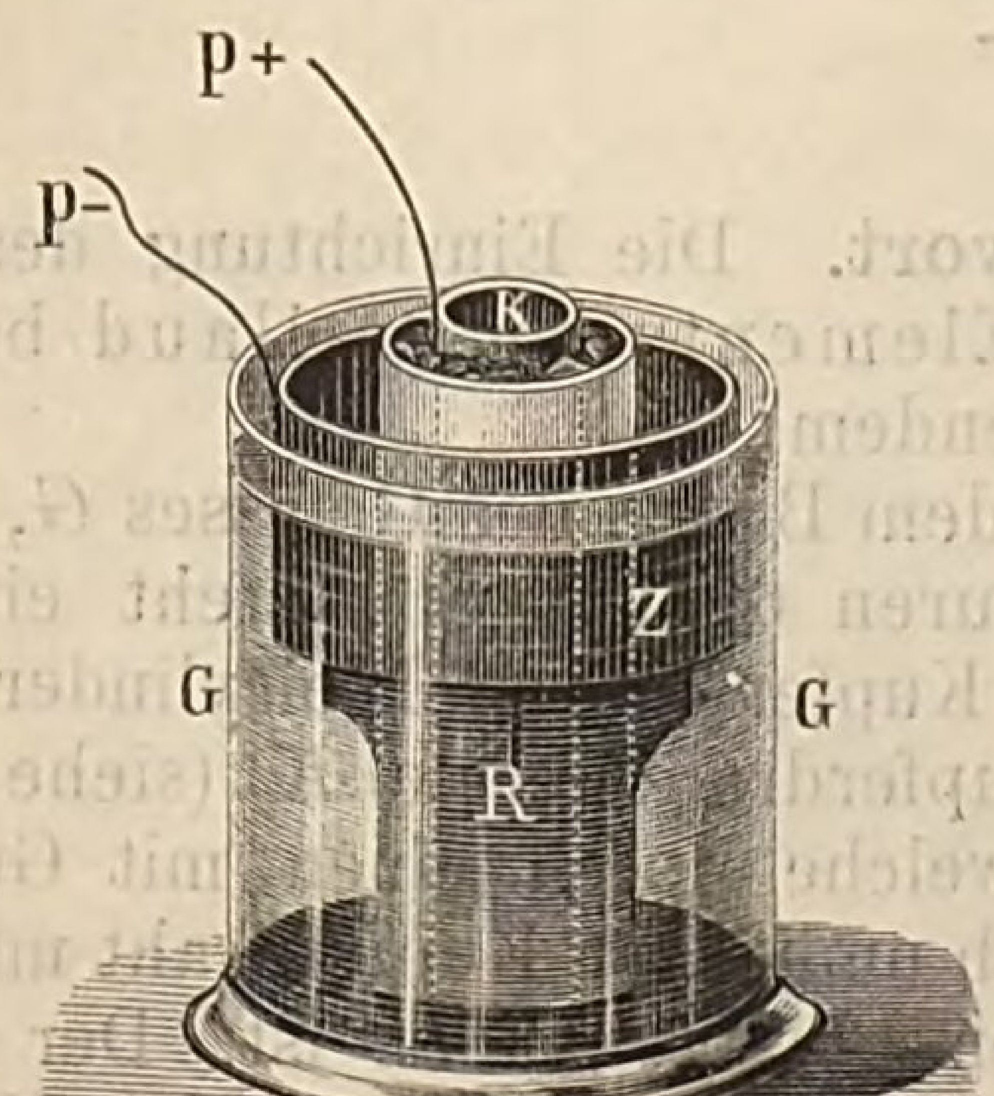
die Höhe des Kupfercylinders mit konzentrierter Lösung von Kupfervitriol *a* übergossen ist. Auf dieser Kupfervitriollösung steht eine Lösung von Zinkvitriol *b* (1 Teil Zinkvitriol und 10 Teile Wasser), welche den oberen Teil des Gefässes füllt. In dem oberen Teil des Gefässes hängt, durch Metallhaken am Rande des Gefässes befestigt, ein Zinkcylinder *Z*, siehe Figur 62, in der Zinkvitriollösung, welcher mit der negativen Polklemme leitend verbunden ist. Dieser Zinkcylinder *Z* kann auch an einem Deckel *D*, siehe Figur 63, befestigt sein (siehe Erkl. 147).

Figur 63.



Frage 98. Worin besteht die Einrichtung des Daniell-Elements von Candido?

Figur 64.



Antwort. Die Einrichtung des Daniell-Elements von Candido besteht in folgendem:

Ein durchlöcherter Kupfercylinder *K*, siehe Figur 64, welcher unten zu einer Scheibe ausgebildet ist, steht in dem Glasgefäss *G*; derselbe ist umhüllt von einem Rohr *R* aus Glas oder Porzellan, welches einige Ansätze trägt, auf denen ein Ring *Z* aus amalgamiertem Zink steht. Der Kupfercylinder enthält Quarzsand, auf welchem Kristalle von Kupfervitriol lagern. Das Glasgefäss *G* ist mit verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Säure auf 20 Teile Wasser) gefüllt.

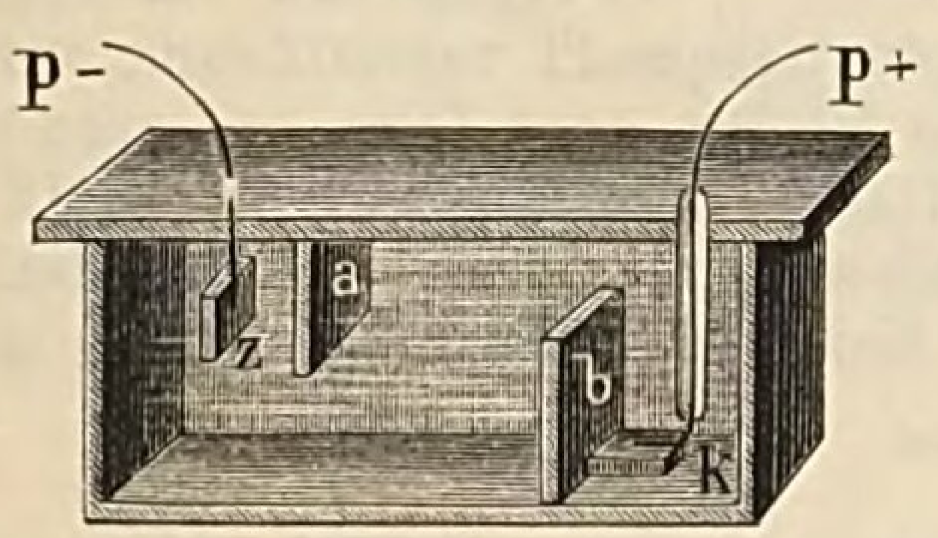
Frage 99. Worin besteht die Einrichtung des Daniell-Elements von Pincus?

Antwort. Die Einrichtung des Daniell-Elements von Pincus besteht in folgendem:

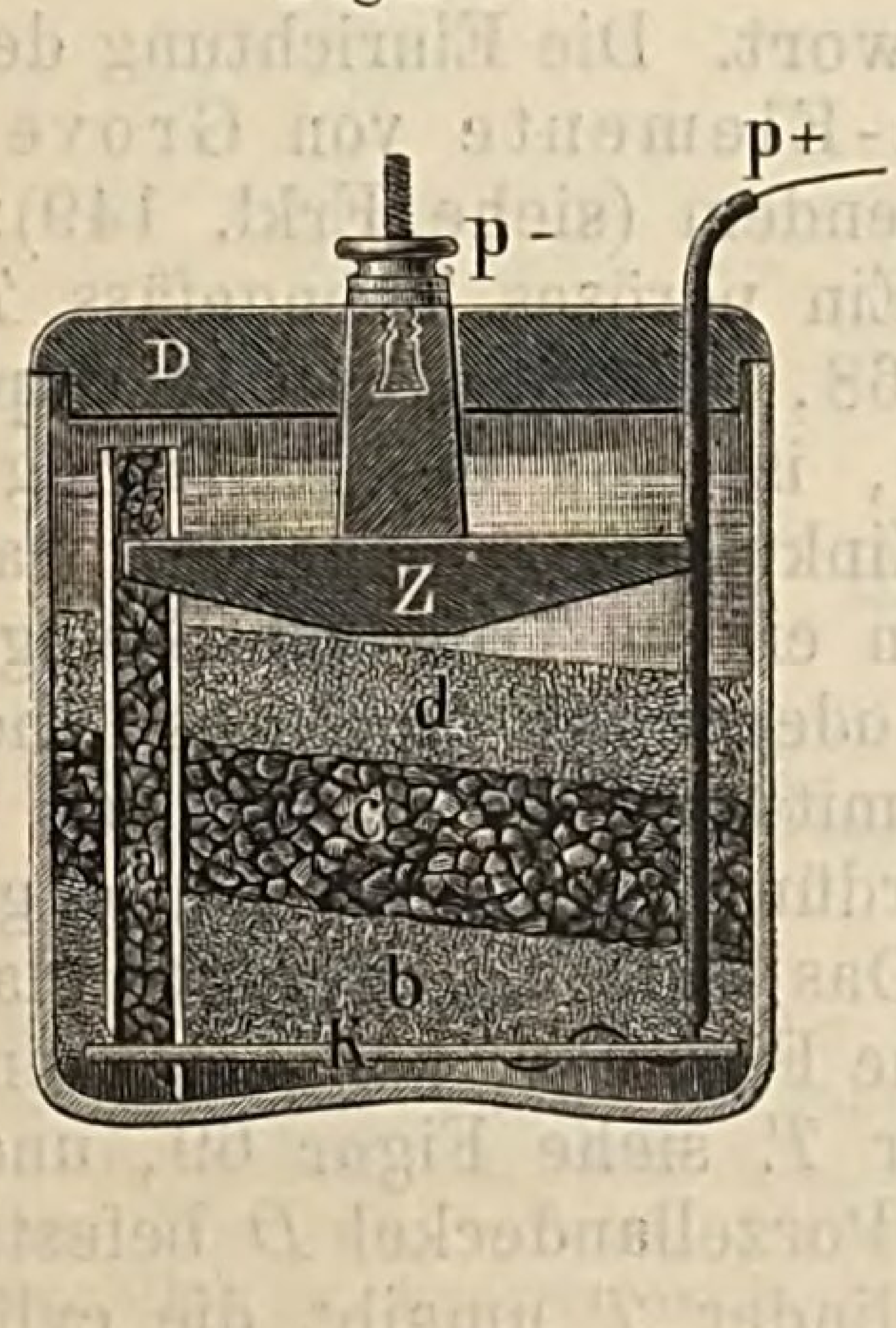
In einem Glasgefäss hängt eine Kupferscheibe in horizontaler Lage und über derselben ebenfalls horizontal eine Zinkscheibe. Durch die Mitte dieser beiden Scheiben geht bis auf den Boden des Glasgefässes ein Glastrichter, daneben ein Heber zum Ablassen der untersten Flüssigkeitsschicht. Die Füllung des Elements geschieht in derselben Weise wie bei dem Callaudschen Element (siehe Antwort auf Frage 97).

Frage 100. Worin besteht die Einrichtung der Daniell-Elemente von Varley?

Figur 65.



Figur 66.



Antwort. Die von Varley angegebenen Daniell-Elemente haben folgende Einrichtung:

1). In einem Kasten, siehe Figur 65, befinden sich zwei wasserdichte Scheidewände, von welchen die eine *a* vom Deckel bis unter die Mitte hinab, die andre *b* vom Boden bis über die Mitte des Kastens hinaufreicht. Die Zinkplatte *Z* hängt unter dem Deckel des Kastens und ist durch den Leitungsdraht *p*— befestigt; die Kupferplatte *K* liegt, umgeben von Kupfervitriolkristallen, auf dem Boden des Kastens und steht mit dem Leitungsdraht *p*+ in Verbindung. Der Kasten ist mit Wasser gefüllt.

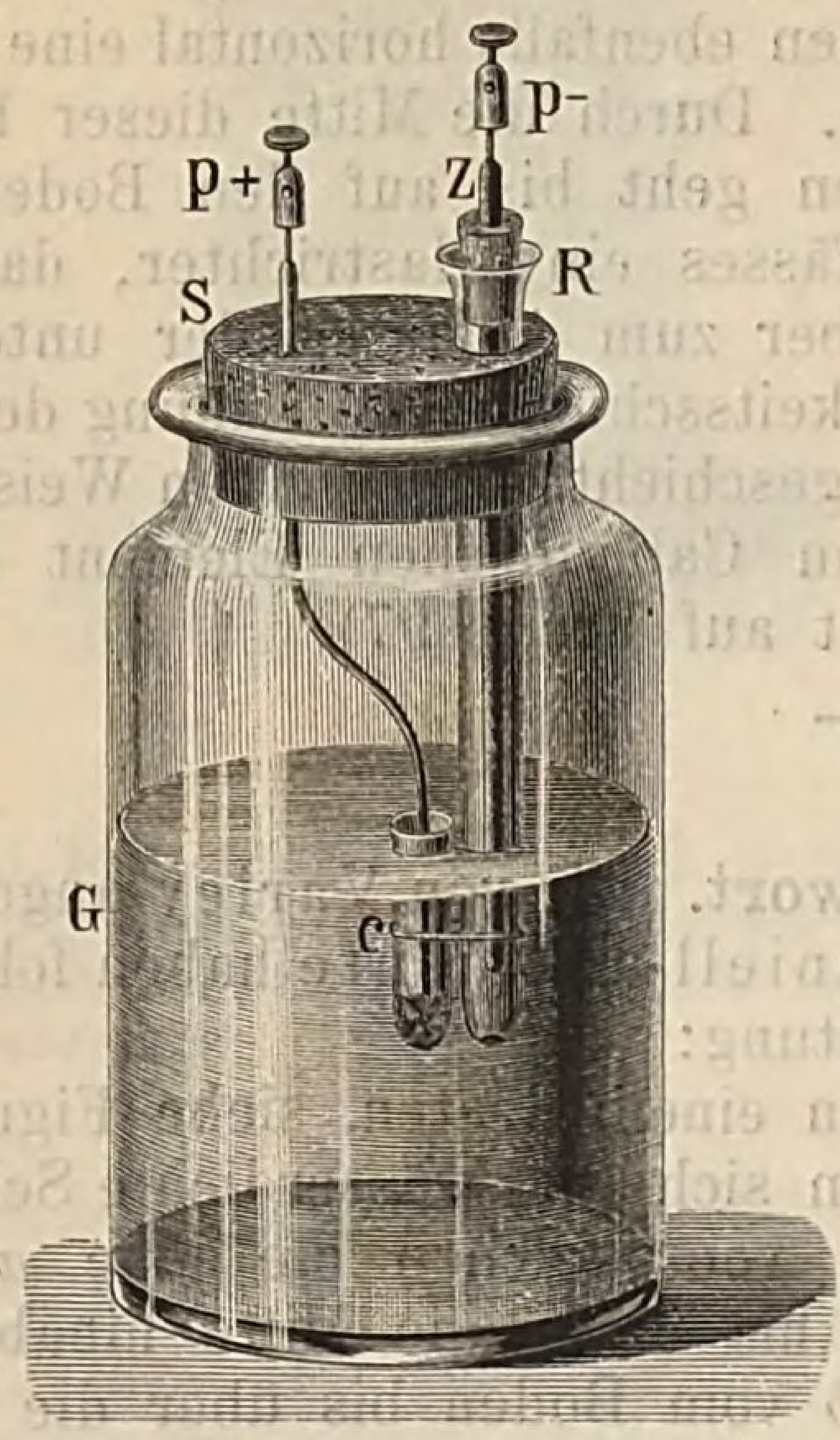
2). Auf dem Boden eines Glasgefässes *G*, siehe Figur 66, liegt eine Kupferplatte *K*, welche mit dem durch einen Gummischlauch umhüllten Leitungsdraht *p*+ verbunden ist. Auf dieser Kupferplatte ruht eine Schicht Sägespähne *b*, auf dieser eine Schicht Zinkoxyd oder kohlensaures Zinnoxyd *c*, hierauf wieder eine Schicht Sägespähne *d*. An der Seite des Glasgefässes steht eine Glasröhre *a* auf dem Boden des Gefässes; dieselbe ist am unteren Ende schief abgeschnitten und ist mit Kupfervitriolkristallen gefüllt. An dem Deckel *D* des Gefässes hängt eine Zinkplatte *Z*, welche mit der Polklemme *p*— leitend verbunden ist. Das Glasgefäss ist mit Wasser gefüllt.

Frage 101. Worin besteht die Einrichtung des Normal-Daniell-Elements von Lodge?

Antwort. Die Einrichtung des Normal-Daniell-Elements von Lodge (siehe Erkl. 137) besteht in folgendem:

In dem Stöpsel *S* des Glases *G*, siehe Figur 67, ist das unten mit einer kleinen Oeffnung versehene Glasröhrchen *R* eingelassen, welches einen amalgamierten Zinkstreifen *Z* enthält. An dem Röhrchen *R* ist ein zweites kleines, unten zugeschmolzenes Glasröhrchen *C* mittels eines Seidenfadens befestigt, in welches ein durch den Stöpsel *S* gehender, mit Gummischlauch umhüllter Kupferdraht bis auf den Boden eingesenkt ist. Das Röhrchen *C* enthält einige Kupfervitriolkristalle und eine konzentrierte Lösung von Kupfervitriol. Das Glas *G* ist mit sehr verdünnter Zinkvitriollösung soweit gefüllt, dass der obere Rand des Röhrchens *C* etwa 8 Millimeter über der Oberfläche der Zinkvitriollösung sich befindet (siehe Erkl. 148).

Figur 67.



Erkl. 148. Die leitende Verbindung zwischen den beiden Flüssigkeiten des in nebenstehender Antwort beschriebenen Elements wird durch die Feuchtigkeit hergestellt, welche den Rand des Röhrchens *C*, siehe Figur 67, bedeckt.

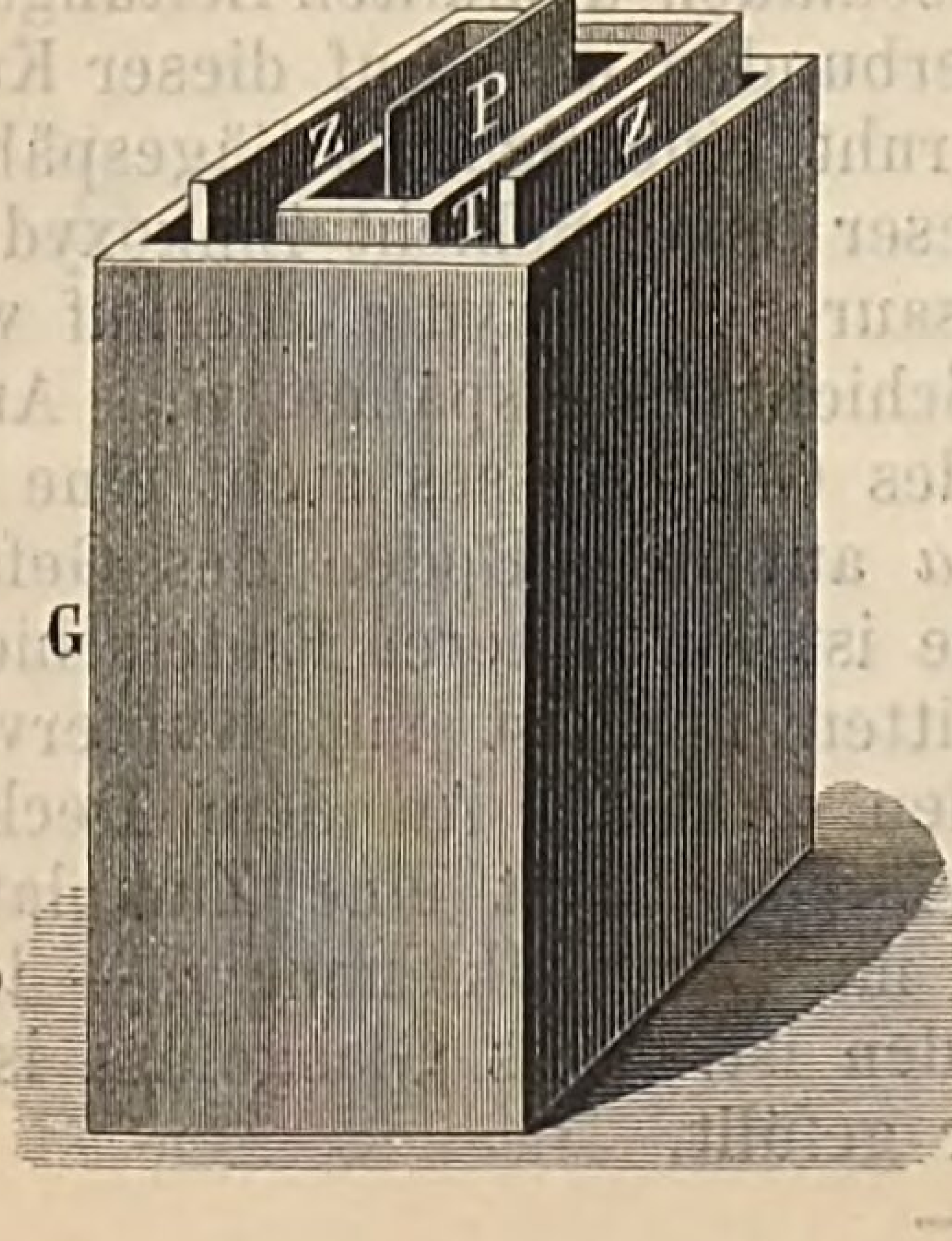
Frage 102. Worin besteht die Einrichtung der Zink-Platin-Elemente von Grove?

Antwort. Die Einrichtung der Zink-Platin-Elemente von Grove besteht in folgendem (siehe Erkl. 149):

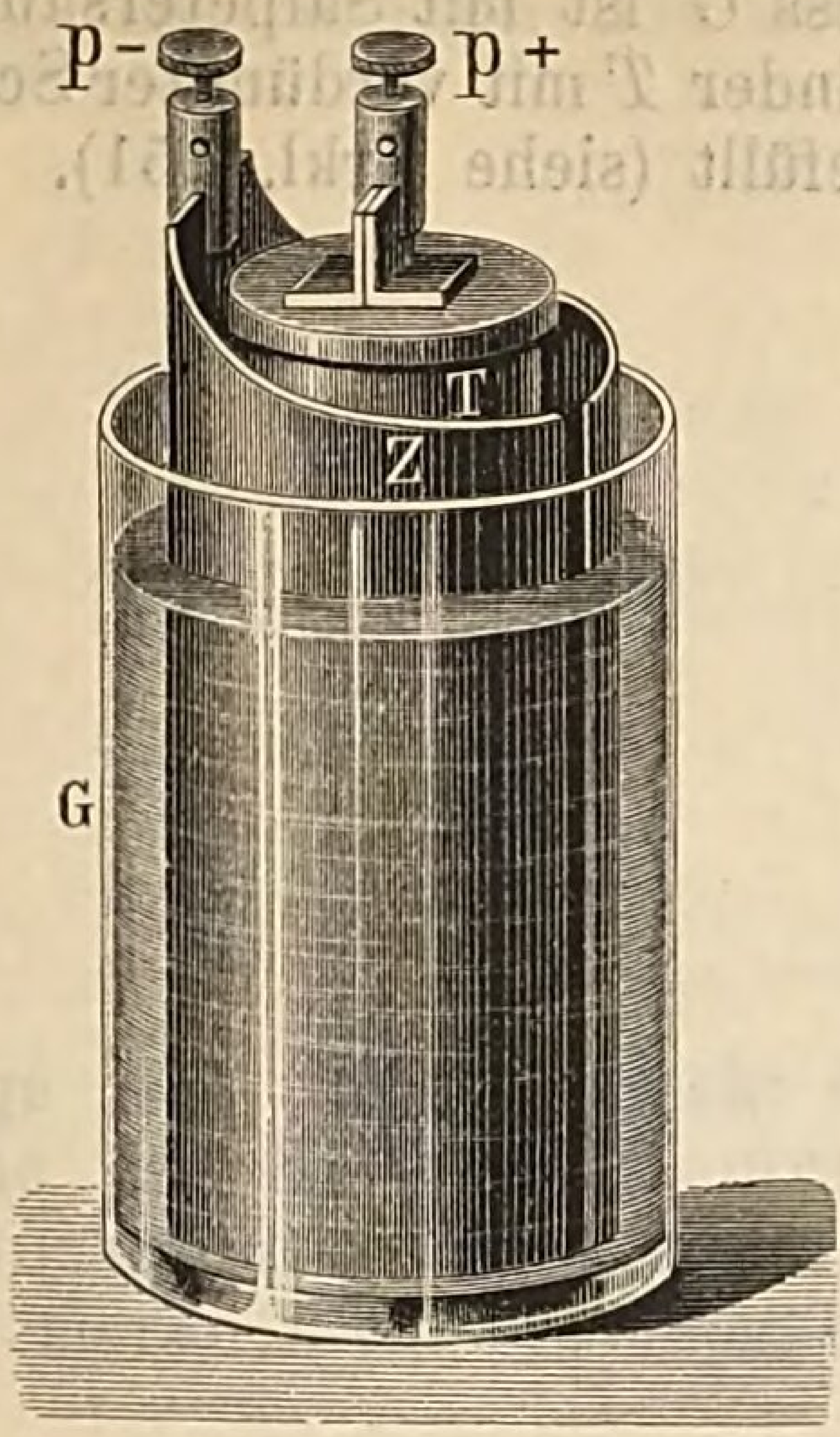
1). Ein poröses Thongefäss *T*, siehe Figur 68, welches die Platinplatte *P* enthält, ist von der ⊂ förmig gestalteten Zinkplatte *Z* umgeben. Das Ganze steht in einem Trog von Steingut, Porzellan oder Glas *G*. Das Thongefäss *T* ist mit Salpetersäure, der Trog *G* mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt.

2). Das ∾förmig gerollte Platinblech *P*, siehe Figur 70, hängt in dem Thoncylinder *T*, siehe Figur 69, und ist an dessen Porzellandeckel *D* befestigt; den Thoncylinder *T* umgibt die cylinderförmig gebogene amalgamierte Zinkplatte *Z*, und das Ganze steht in dem Glas-

Figur 68.

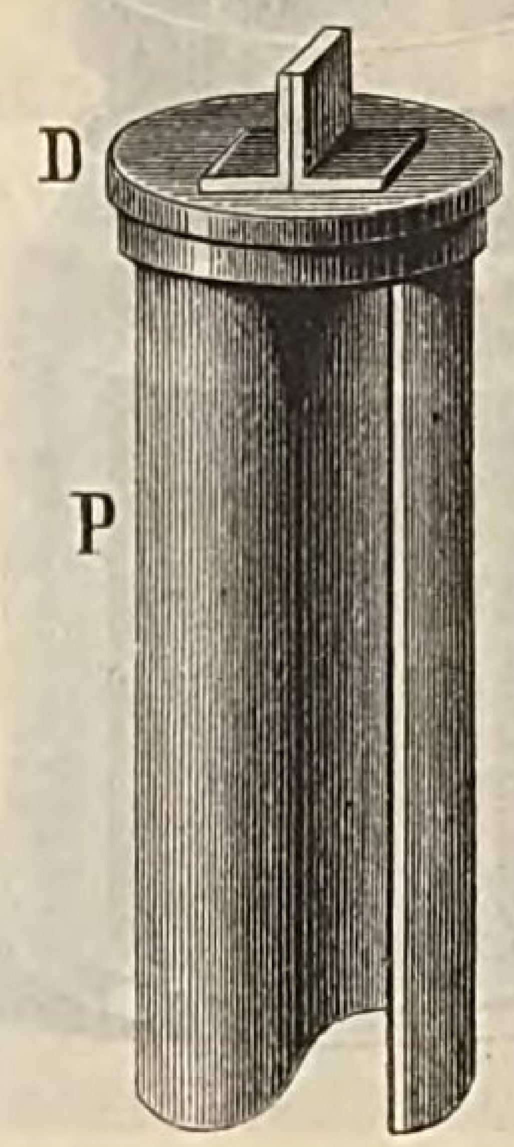


Figur 69.



cylinder *G*. Die Füllung ist die gleiche wie unter 1). beschrieben.

Figur 70.



Erkl. 149. Das in nebenstehender Antwort beschriebene Element wurde im Jahre 1839 angegeben. Das erste Grovesche Element war zusammengesetzt wie folgt:

Ein unten zugekitteter Thonpfeifenkopf war mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt und enthielt eine kleine amalgamierte Zinkplatte. Derselbe befand sich in einem Glase, welches ein Platinblech und Salpetersäure enthielt.

Frage 103. Worin besteht die Einrichtung des Grove-Elements von Callan?

Antwort. Das Grove-Element von Callan ist ähnlich dem in voriger Antwort beschriebenen Element eingerichtet, nur ist die Platinelektrode durch eine Elektrode aus platiniertem Blei und die Salpetersäure durch eine Mischung von 1 Teil konzentrierter Salpetersäure, 2 Teilen Schwefelsäurehydrat und 1 Teil konzentrierter Salpeterlösung ersetzt.

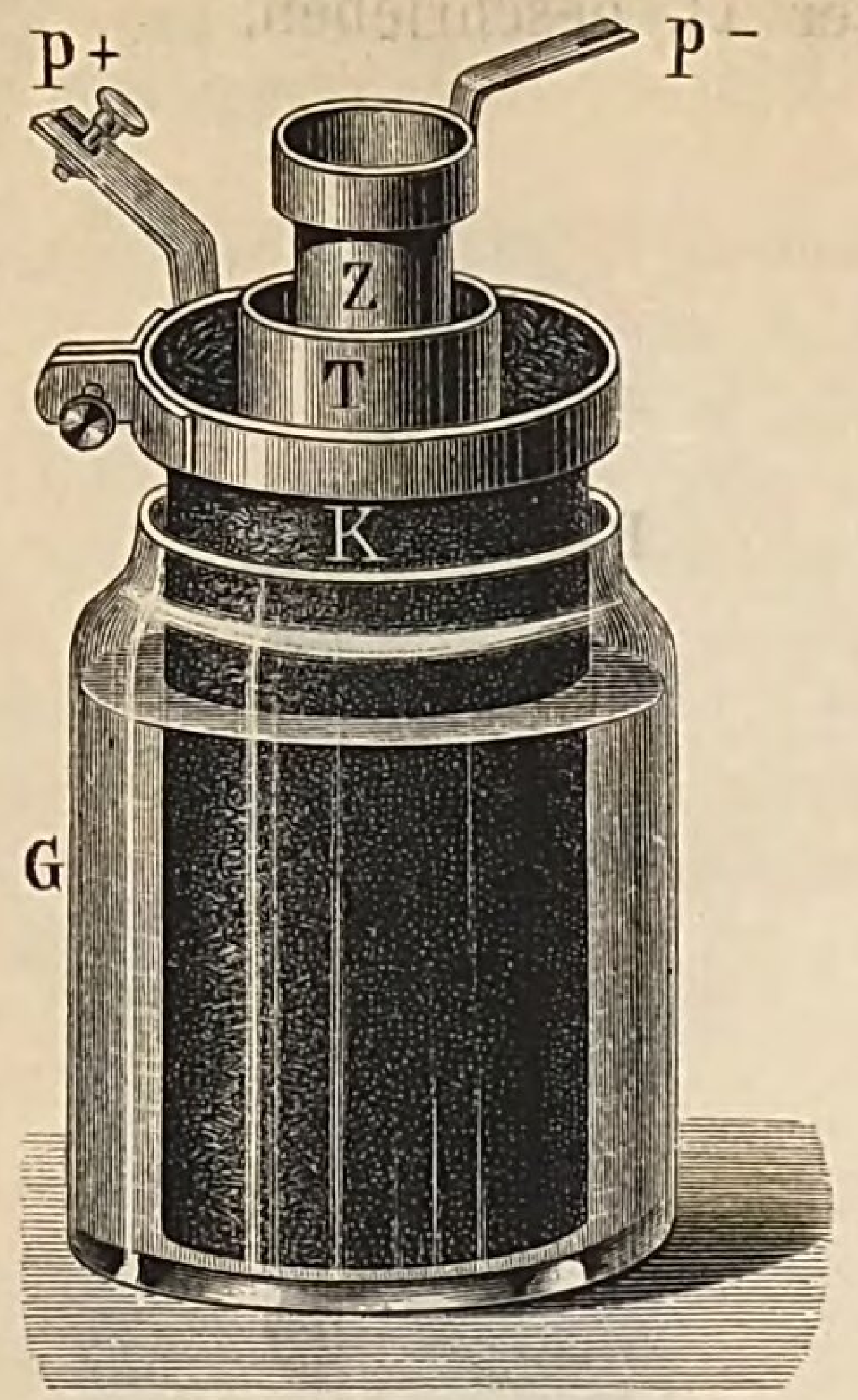
Frage 104. Worin besteht die Einrichtung des Zink-Kohle-Elements von Bunsen?

Erkl. 150. Das in nebenstehender Antwort beschriebene Element wurde im Jahre 1844 von *Bunsen* angegeben, nachdem er schon 1842 ein ähnliches Element, welches jedoch nicht mehr gebräuchlich ist, konstruiert hatte. Auch *Cooper* und *Schönbein* haben im Jahre 1840 ähnliche Zink-Kohle-Elemente angegeben.

Antwort. Die Einrichtung des Zink-Kohle-Elements von Bunsen besteht in folgendem (siehe Erkl. 150):

Ein unten offener Cylinder *K*, siehe Figur 71, aus Kohle, dessen Wand durchlöchert und dessen oberes Ende mit Wachs getränkt ist, steht in einem Glasgefäss *G* und umgibt einen Cylinder *T* aus porösem Thon, welcher einen amal-

Figur 71.



gamierten Zinkcylinder Z enthält. Das Glasgefäss G ist mit Salpetersäure, der Thoncylinder T mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt (siehe Erkl. 151).

Erkl. 151. Die Beschreibung der Verbindung der Kohle des in nebenstehender Antwort beschriebenen Elements mit der Polklemme, sowie der Elemente unter sich zu einer Säule findet man in dem Abschnitt „Ueber die Nebenbestandteile der galvanischen Elemente“.

Frage 105. Worin besteht das Wesentliche der Grove-Elemente mit einer negativen Elektrode aus Eisen, und von wem wurden dieselben angegeben?

Antwort. 1). Schönbein (siehe Erkl. 152) ersetzte in dem Grove-Element das Platin durch ein Gefäss aus Gusseisen. In diesem Eisengefäss steht ein poröser Thoncylinder, welcher mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist und einen Zinkcylinder enthält. Das Eisengefäss enthält ein Gemisch von 2 Teilen Salpetersäure und 1 Teil Schwefelsäure.

2). Callans Grove-Element besteht aus einem Glas- oder Steingut-Gefäss, welches einen Zinkcylinder enthält; in letzterem steht ein poröser Thoncylinder und in diesem ein Eisenprisma. Das äussere Gefäss enthält verdünnte Schwefelsäure, der Thoncylinder Salpetersäure.

3). In Uelsmanns Grove-Element ist das Platin durch Silicium-Eisen ersetzt.

Erkl. 152. *Christian Friedrich Schönbein*, geb. 18. Oktober 1799 zu Metzingen in Württemberg, † 29. August 1868 zu Baden-Baden, war Professor der Chemie zu Basel. Derselbe ist bekannt durch seine Entdeckungen auf dem Gebiet der Chemie.

Frage 106. Worin besteht die Einrichtung des Bunsen-Elements von Faure?

Antwort. Die Einrichtung des Bunsen-Elements von Faure besteht in folgendem:

In einem Gefäss aus Glas oder Steingut, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist, steht ein Zinkcylinder; in diesem befindet sich eine Flasche aus einem porösen Gemenge von Thon und Graphit, welche mit einem paraffingetränkten Stöpsel aus Kohle verschlossen und mit konzentrierter Salpetersäure beinahe ganz gefüllt ist.

Frage 107. Worin besteht das Wesentliche der Bunsen-Elemente mit Chromsäuremischungen und von wem wurden solche Elemente angegeben?

Antwort. In den Bunsen-Elementen kann die Salpetersäure durch eine Chromsäuremischung ersetzt werden.

Ein solches Element wurde unter anderen von *Bunsen*, *Poggendorff*, *Buff* angegeben und dabei die in Erkl. 129 erwähnten Mischungen verwandt.

Frage 108. Worin besteht das Wesentliche des Thomsenschen Kupfer-Kohle-Elements?

Antwort. Das Thomsensche Element enthält Kupfer in verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Säure auf 4 Teile Wasser) und Kohle in einer Chromsäuremischung (doppeltchromsaures Kali, Schwefelsäure und Wasser).

Frage 109. Worin besteht das Wesentliche der Eisenchlorid-Elemente?

Antwort. In dem Bunsen-Element kann man statt der Salpetersäure Eisenchlorid anwenden.

Unter anderm wandte *Guignet* ein Gemisch von 20 Teilen Eisenchlorid und 1 Teil Salzsäure an; *Buff* mischte Eisenchlorid mit Kochsalz; *Gérardin* mischte Eisenchlorid mit Königswasser.

Frage 110. Worin besteht das Wesentliche des Eisenvitriol-Elements von Delaurier?

Antwort. Das Element von Delaurier ist ein Bunsen-Element, in welchem an Stelle der Salpetersäure ein Gemisch von 20 Teilen Eisenvitriol, 36 Teilen Wasser, 7 Teilen Schwefelsäurehydrat und 1 Teil Salpetersäurehydrat angewendet ist.

Frage 111. Worin besteht die Einrichtung des Eisen-Kohle-Elements von Ponci?

Antwort. Die Einrichtung des Eisen-Kohle-Elements von Ponci besteht in folgendem:

In einem Glasgefäss steht eine Kohlenplatte und ein poröser Thoncylinder, welcher eine Eisenplatte enthält. Das Glasgefäss ist mit Eisenchloridlösung, der Thoncylinder mit Eisenchlorürlösung gefüllt.

Frage 112. Worin besteht das Wesentliche des Pikrinsäure-Elements von Duchemin?

Antwort. Das Element von Duchemin ist ein Bunsen-Element, in welchem die Salpetersäure durch Pikrinsäure, welche einige Tropfen Schwefelsäure enthält, ersetzt ist.

Frage 113. Worin besteht die Einrichtung des Kaliumpermanganat-Elements von Koosen?

Antwort. Die Einrichtung des Kaliumpermanganat-Elements von Koosen besteht in folgendem:

In einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Gefäss steht ein amalgamierter Zinkcylinder, in diesem ein poröser Thoncylinder, welcher eine Lösung von Kaliumpermanganat mit $^1/_{30}$ Schwefelsäure und eine Platinelektrode enthält. Die Platinelektrode besteht, um deren Oberfläche zu vergrössern, aus dünnen Platinblechen, welche in Fächerform an einen Platindraht gelötet sind.

Frage 114. Worin besteht die Einrichtung von Niaudets Chlorkalk-Element?

Antwort. Die Einrichtung von Niaudets Chlorkalk-Element besteht in folgendem:

In einem mit Kochsalzlösung gefüllten Glasgefäss befindet sich ein Zinkcylinder und in diesem ein poröser Thoncylinder, welcher eine von Kohlenstücken umgebene Kohlenplatte und Chlorkalk enthält. Statt des Thoncylinders wird auch Pergamentpapier verwendet. Das Gefäss ist, um den Geruch nach Chlorkalk zu vermeiden, mit einem Deckel gut verschlossen.

Frage 115. Worin besteht das Wesentliche des Aluminium-Elements von Wöhler?

Antwort. Das Aluminium-Element von Wöhler (siehe Erkl. 153)

Erkl. 153. *Friedrich Wöhler*, geb. 31. Juli 1800 zu Eschersheim bei Frankfurt a. M., † 23. September 1882, war Professor der Chemie zu Göttingen und ist durch seine hervorragenden Leistungen auf dem Gebiet der Chemie bekannt.

besteht im Wesentlichen aus einer Aluminiumplatte in verdünnter Natronlauge oder Salzsäure und einer Aluminiumplatte in konzentrierter Salpetersäure, welche von der ersteren Platte durch einen porösen Thoncylinder getrennt ist.

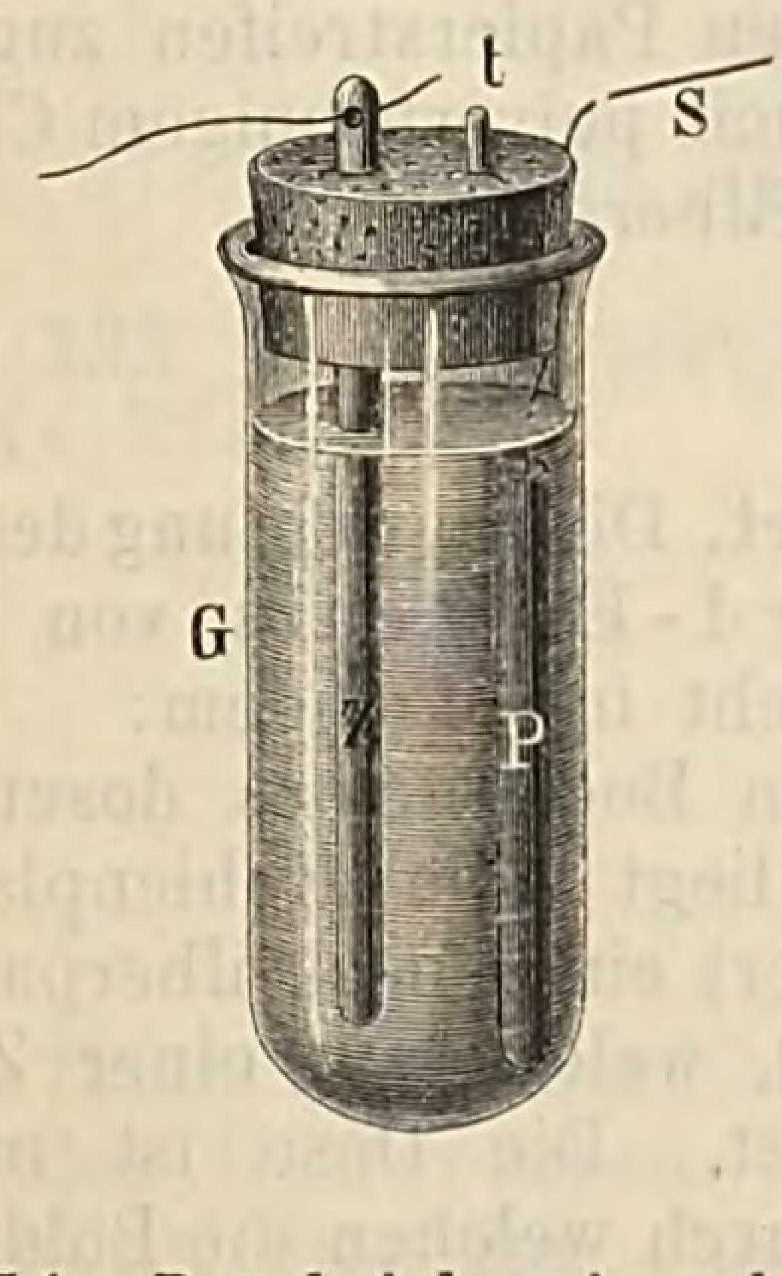
Frage 116. Worin besteht die Einrichtung des Quecksilbersulfat-Elements von Marié Davy?

Antwort. Die Einrichtung des Quecksilbersulfat-Elements von Marié Davy besteht in folgendem:

In einem Glasgefäss steht ein cylindrisch gebogenes Zinkblech und in diesem ein Thoncylinder, welcher ein Kohlenprisma enthält. Das Glasgefäss ist mit Wasser, der Thoncylinder mit einem mit Wasser angerührten Brei von Quecksilbersulfat gefüllt.

Frage 117. Worin besteht die Einrichtung des Chlorsilber-Elements von Warren de la Rue und Müller?

Figur 72.



Erkl. 154. Das bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Element zu verwendende Zink soll möglichst rein sein.

Antwort. Die Einrichtung des Chlorsilber-Elements von Warren de la Rue und Müller besteht in folgendem:

In einer unten geschlossenen Glasröhre *G*, siehe Figur 72, steht ein nicht amalgamierter Zinkstab *Z* (siehe Erkl. 154). Neben diesem Zinkstab befindet sich ein Silberbändchen *S*, an dessen unterem Ende ein Cylinderchen von Chlorsilber angeschmolzen, und welches, zur Vermeidung einer Berührung mit dem Zinkstab *Z*, von einer Pergamenthülle *P* umgeben ist. Der Glascylinder *G* ist mit einer Lösung von 1 Teil Salmiak in 40 Teilen Wasser gefüllt und ist durch einen Stöpsel aus Paraffin sorgfältig dicht geschlossen, durch welchen der Zinkstab *Z* hindurchgeht. Das Silberband *S* ist zwischen die Wand des Glascylinders *G* und dem Stöpsel eingeklemmt. Der Stöpsel ist noch mit einer Oeffnung zum Eingiessen der Lösung versehen, welche ein kleiner Stöpsel *t* schliesst.

Frage 118. Worin besteht die Einrichtung des Chlorsilber-Elements von Pincus?

Antwort. Die Einrichtung des Chlorsilber-Elements von Pincus besteht in folgendem:

Auf dem Boden eines Reagiercylinders (siehe Erkl. 155) steht ein fingerhut-

förmiger Tiegel von Silberblech. Derselbe enthält Chlorsilber in Pulverform, mit welchem das Ende eines mit Gummischlauch überzogenen Leitungsdrahts in leitender Verbindung steht. In dem Reagiercylinder hängt eine amalgamierte Zinkplatte; dieselbe ist an einem Draht befestigt, welcher durch den das Glas schliessenden Stöpsel hindurchgeführt ist. Der Reagiercylinder wird etwa zu $^4/_5$ mit Kochsalzlösung oder mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. Die Zinkplatte kann an dem sie haltenden Draht nach Bedarf in die Flüssigkeit hineingeschoben oder in den oberen keine Flüssigkeit enthaltenden Raum des Reagiercylinders geschoben werden.

Erkl. 155. Ein Reagier- oder Reagenscylinder ist eine unten geschlossene Glasröhre von etwa 10—20 Centimeter Höhe und etwa 1—3 Centimeter Durchmesser, welche von den Chemikern zu Versuchen (Reaktionen) benutzt wird. Der in nebenstehender Antwort erwähnte Reagiercylinder hat eine Länge von etwa 20 Centimeter und einen Durchmesser von etwa 2 Centimeter.

Frage 119. Worin besteht das Wesentliche des Chlorsilber-Elements von Gaiffe?

Antwort. Das Chlorsilber-Element von Gaiffe ist im Wesentlichen wie folgt zusammengesetzt:

An einen Zinkstreifen sind 6 bis 8 mit Chlorzink getränkte Streifen von Filtrierpapier gelegt und an diesen liegt auf der den Papierstreifen zugekehrten Seite ein mit pulverförmigem Chlorsilber belegter Silberstreifen.

Frage 120. Worin besteht die Einrichtung des Quecksilberoxyd-Elements von Scrivanoff?

Antwort. Die Einrichtung des Quecksilberoxyd-Elements von Scrivanoff besteht in folgendem:

Auf dem Boden eines dosenförmigen Gefässes liegt eine Kohlenplatte; auf dieser lagert eine Quecksilberpaste (siehe Erkl. 156), welche mit einer Zinkplatte bedeckt ist. Die Dose ist mit einem Deckel, durch welchen die Poldrähte von den beiden Elektroden hindurchgeführt sind, dicht verschlossen.

Erkl. 156. Die in nebenstehender Antwort erwähnte Quecksilberoxydpaste wird dargestellt wie folgt:

Man siede Quecksilberoxyd mit Salmiaklösung, wasche es aus, versetze es mit etwas Quecksilberchlorid, schmelze und pulvere diese Mischung und füge Chlorzink dazu.

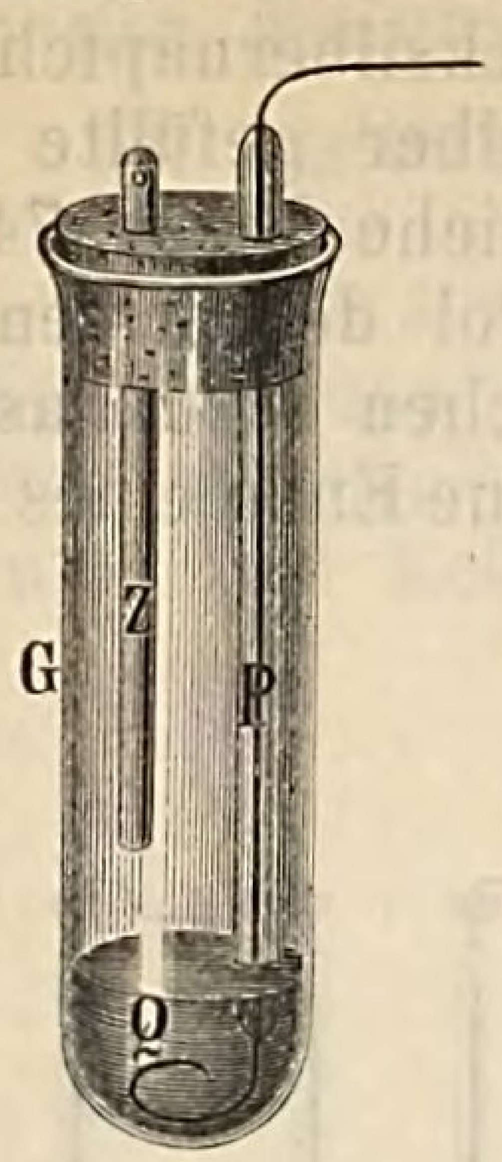
Frage 121. Worin besteht die Einrichtung des Zink-Quecksilber-Elements von Latimer Clark?

Antwort. Die Einrichtung des Zink-Quecksilber-Elements von Latimer Clark besteht in folgendem (siehe Erklärung 157):

In einem unten geschlossenen Glascylinder *G*, siehe Figur 73, steht ein in ein Glasröhrchen eingeschmolzener

Erkl. 157. Das in nebenstehender Antwort beschriebene Element dient als Normal-Element (siehe Erkl. 137).

Figur 73.



Platindraht *P*, dessen unteres aus dem Glasröhrchen herausragendes Ende zu einem horizontalen Kreise gebogen ist. Der Boden des Glascylinders ist mit Quecksilber *Q* bedeckt, auf welchem eine Paste von mit Zinkvitriol durchtränktem schwefelsaurem Quecksilberoxydul gegossen ist (siehe Erkl. 158). In diese Paste taucht ein Zinkstab *Z*. Der Glascylinder ist mit geschmolzenem Paraffin, welches auf die Paste gegossen ist, luftdicht geschlossen (siehe Erkl. 159).

Erkl. 158. Die in nebenstehender Antwort erwähnte Paste wird dargestellt, indem man schwefelsaures Quecksilberoxydul mit konzentrierter Zinkvitriollösung gut durchkocht. Vor dem Gebrauch wird die Paste jedesmal mit etwas Quecksilber gekocht.

Erkl. 159. Das in nebenstehender Antwort beschriebene Element wird vor dem Gebrauch mit der Paste gefüllt, dann bis zur völligen Entfernung der Luft längere Zeit zum Sieden erhitzt und nun mit dem geschmolzenen Paraffin geschlossen.

D). Ueber die Gas-Elemente.

Frage 122. Was versteht man unter einem Gas-Element?

Antwort. Unter einem Gas-Element versteht man ein solches galvanisches Element, welches aus zwei in eine Flüssigkeit eintauchenden Metallplatten besteht, von welchen eine oder beide mit Gasen bedeckt (beladen) sind.

Frage 123. Worin besteht die Einrichtung des Groveschen Gas-Elements, worin diejenige einer Groveschen Gaskette oder Gasbatterie?

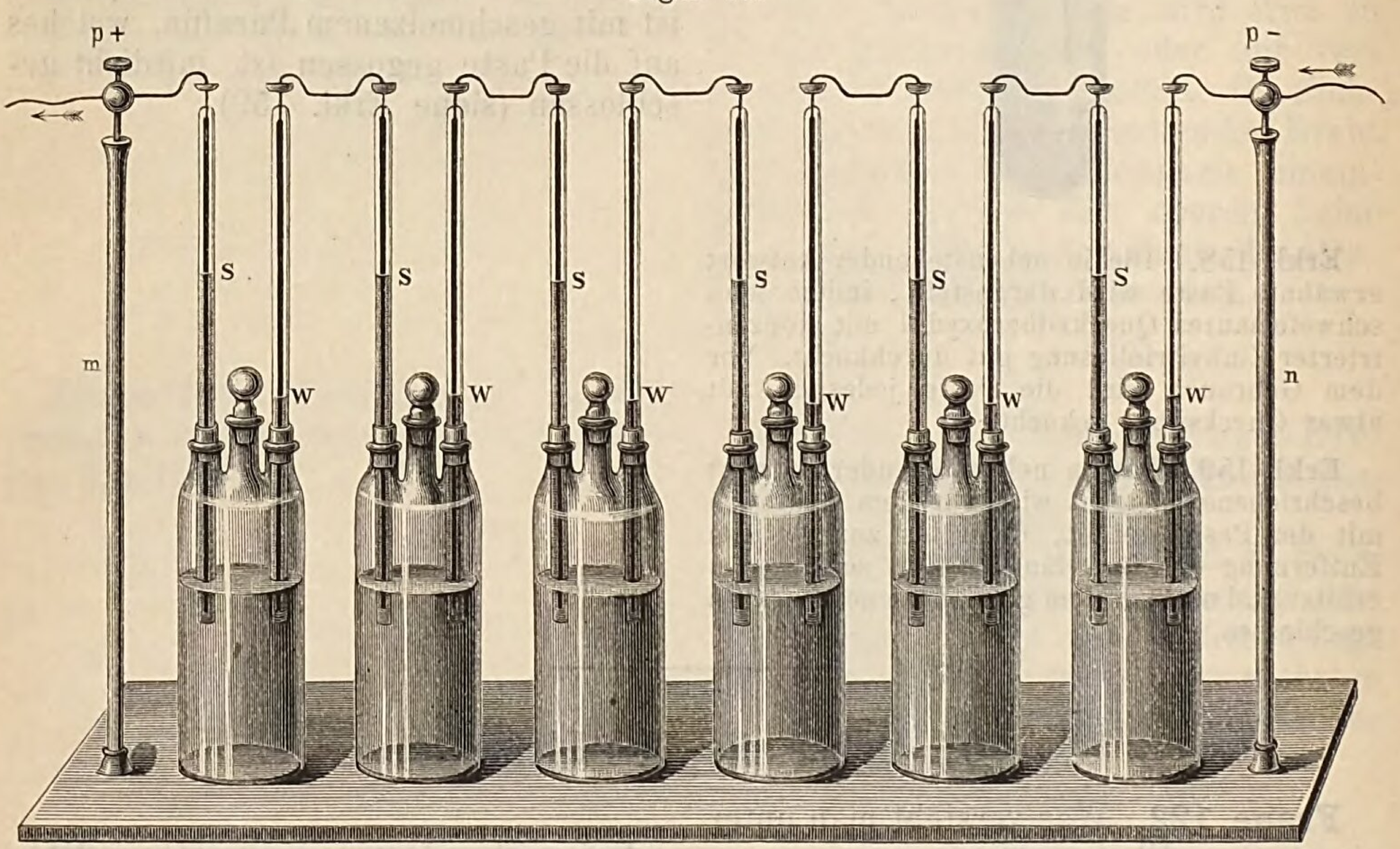
Antwort. Die Einrichtung des Groveschen Gas-Elements ist in Antwort auf Frage 24 beschrieben und durch Figur 12 dargestellt. Der Platindraht *a*, siehe Figur 12, welcher von der mit Sauerstoffgas beschickten Röhre *A* ausgeht, bildet den positiven Pol, der andre Platindraht *b*, welcher von der mit Wasserstoff beschickten Röhre *B* ausgeht, bildet den negativen Pol des Gas-Elements.

Solche Gas-Elemente werden auf folgende Weise zur Kette vereinigt:

An den Platindrähten, welche die Pla-

tinstreifen der Gas-Elemente halten, werden Quecksilbernäpfchen, d. h. kleine mit Quecksilber gefüllte Schälchen angebracht, siehe Figur 74. In das den negativen Pol des ersten Elements bildende Näpfchen wird das nach abwärts gebogene eine Ende eines Leitungsdrahts

Figur 74.



eingelegt, das andre gleichfalls nach abwärts gebogene Ende desselben Leitungsdrahts taucht in das positive Polnäpfchen des zweiten Elements. Auf die gleiche Weise wird das zweite Element mit dem dritten, das dritte mit dem vierten u. s. f. verbunden. Damit die Leitungsdrähte nicht aus den Näpfchen herausfallen, sind sie, wie aus Figur 74 ersichtlich, in der Mitte nach unten durchgebogen. Die beiden äussersten Drähte finden ihren Halt in den Polklemmen $p+$ und $p-$, welche auf den Ständern m und n aufgesetzt sind.

Sobald der Stromkreis geschlossen wird (siehe Antwort auf Frage 36), so gewahrt man, dass die Menge der beiden Gase stetig abnimmt, und zwar nimmt die Menge des Wasserstoffs doppelt so stark ab, wie die Menge des Sauerstoffs (siehe Erkl. 160).

Erkl. 160. Ausführliches über das elektrische Verhalten der Gase findet man in einem späteren Abschnitt.

E). Ueber die Nebenbestandteile und speziellen Vorrichtungen an galvanischen Elementen und Ketten.

Frage 124. Welches sind die hauptsächlichsten Nebenbestandteile und speziellen Vorrichtungen an galvanischen Elementen und Ketten?

Antwort. Die hauptsächlichsten Nebenbestandteile und speziellen Vorrichtungen, welche beim Gebrauch der galvanischen Elemente und Ketten angewendet werden, sind:

1). Leitungsdrähte und Leitungsstreifen (siehe Antwort auf die Fragen 125 und 126),

2). Klemmschrauben und Quecksilbernäpfe (siehe Antw. auf Frage 128),

3). Kontaktvorrichtungen (siehe Antwort auf Frage 129),

4). Diaphragmen (siehe Antwort auf Frage 130),

5). Hebevorrichtungen für Elektroden (Tauchbatterien) (siehe Antwort auf Frage 132),

6). Vorrichtungen für das Einfüllen und Ausleeren der Flüssigkeiten (siehe Antwort auf Frage 134),

7). Vorrichtungen zum Bewegen der Flüssigkeiten oder Elektroden (siehe Antwort auf Frage 135),

8). Einrichtungen zur Erleichterung des Transports der Elemente und Ketten (transportable Elemente und Ketten) (siehe Antw. auf Frage 136),

9). Einrichtungen zur verschiedenartigen Verbindung (Kombination) einer Anzahl Elemente (siehe Antwort auf Frage 139),

10). Einrichtungen zum Oeffnen und Schliessen des Stromkreises: sog. Stromschlüssel (siehe Antwort auf Frage 140),

11). Einrichtungen zur Umkehrung der Richtung des elektrischen Stroms in einem Teile des Stromkreises: Stromwender oder Kommutatoren (siehe Antwort auf Frage 145).

a). Ueber die Leitungsdrähte und Leitungsstreifen.

Frage 125. Zu welchen Zwecken dienen die Leitungsdrähte und Leitungsstreifen?

Antwort. Die Leitungsdrähte und Leitungsstreifen dienen zu dem Zweck,

den elektrischen Strom (siehe Antwort auf Frage 36) von dem positiven Pol eines Rheomotors nach dem negativen Pol desselben zu leiten, bezw. einen Rheomotor mit irgend welchen Apparaten oder mit einem zweiten Rheomotor in leitende Verbindung zu bringen.

Frage 126. Welche Metalle werden am häufigsten für Leitungsdrähte gewählt, und welche Gründe bestimmen diese Wahl?

Erkl. 161. Den Leitungsdrähten gibt man häufig die Form einer cylindrischen Spirale, um sie beim Gebrauch nach Bedarf in die erforderliche Länge bringen zu können.

Erkl. 162. Die Leitungsdrähte werden mitunter auch Reophore (Stromträger) genannt (von ῥεῖν = fliessen und φέρειν = tragen, bringen).

Antwort. Man wählt meist Leitungsdrähte aus Kupfer, mitunter solche aus Eisen oder aus Platin (siehe Erkl. 161).

Kupferne Leitungsdrähte bieten den Vorteil eines geringen Leitungswiderstandes (siehe Erkl. 91); eiserne Drähte haben den Vorzug der Billigkeit; Drähte aus Platin sind widerstandsfähig gegen die Einwirkung der Luft, der Feuchtigkeit (sie rosten nicht) und der Säuren oder Salzlösungen (siehe Erkl. 162).

Frage 127. In welcher Weise kann man die Leitungsdrähte und Leitungsstreifen mit den Elektroden der Elemente in leitende Verbindung bringen?

Antwort. Die Leitungsdrähte und Leitungsstreifen kann man mit den Elektroden der Elemente auf verschiedene Weise in Verbindung bringen:

1). durch Anlöten an die Elektrode, wenn dieselbe aus einem Metall besteht;

2). durch Vermittlung einer Klemmschraube (siehe folgende Antwort);

3). durch Einpressen, wenn die Elektrode aus Kohle oder aus einem Superoxyd besteht [siehe Antw. auf Frage 129 unter 3). h).];

4). durch Vermittlung einer Kontaktvorrichtung (siehe Antw. auf Frage 129).

b). Ueber die Klemmschrauben und Quecksilbernäpfe.

Frage 128. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch der Klemmschrauben und der Quecksilbernäpfe?

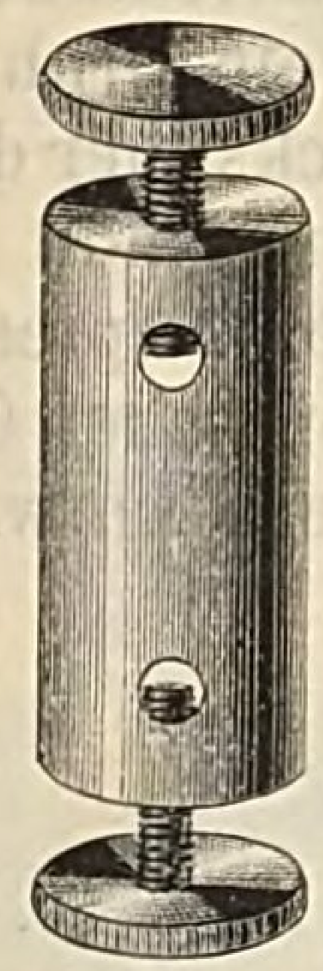
Erkl. 163. Es ist von grösster Wichtigkeit, dass alle Leitungsdrähte, Klemmschrauben und Kontaktvorrichtungen (siehe die Antworten auf die Fragen 127—129) an den Kontaktstellen durchaus rein metallisch sind, weil jede Art von Schmutz oder ein Ueberzug von Metalloxyd dem Durchgang des elektrischen Stroms durch die Kontaktstelle einen Widerstand ent-

Antwort. 1). Die Einrichtung der Klemmschrauben ist verschieden, je nach der Lage, welche für die zu verbindenden Leitungsdrähte erforderlich ist. Die gebräuchlichsten Klemmschrauben für allgemeine Zwecke bestehen aus einem Metallcylinder (meist wird Messing verwendet), siehe die Figuren 75 bis 77, welcher zwei Durchbohrungen besitzt, in welche je eine Schraube eingedreht ist. In diese Durchbohrungen werden

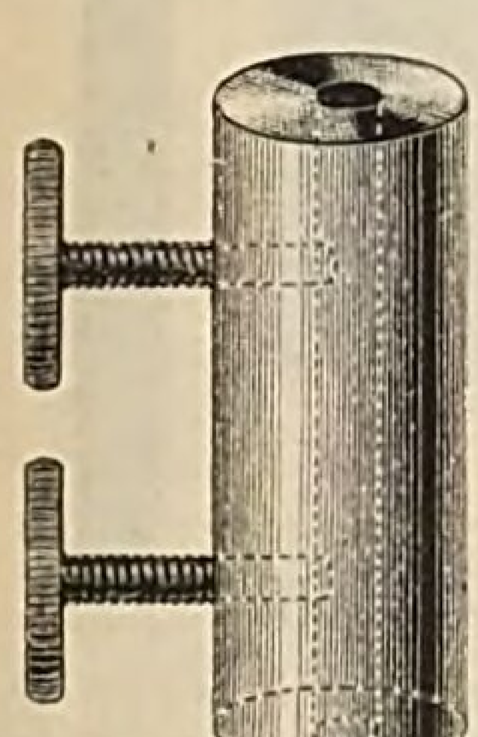
gegensetzt, welcher eine Schwächung des elektrischen Stroms zur Folge hat (siehe Erkl. 164).

Erkl. 164. Um die Kontaktstellen in einer Stromleitung zu reinigen (siehe vorige Erkl.), reibt man dieselben mit feinem Glas- oder Schmirgelpapier so lange, bis sie ein metallisch glänzendes Aussehen haben (siehe Erkl. 165).

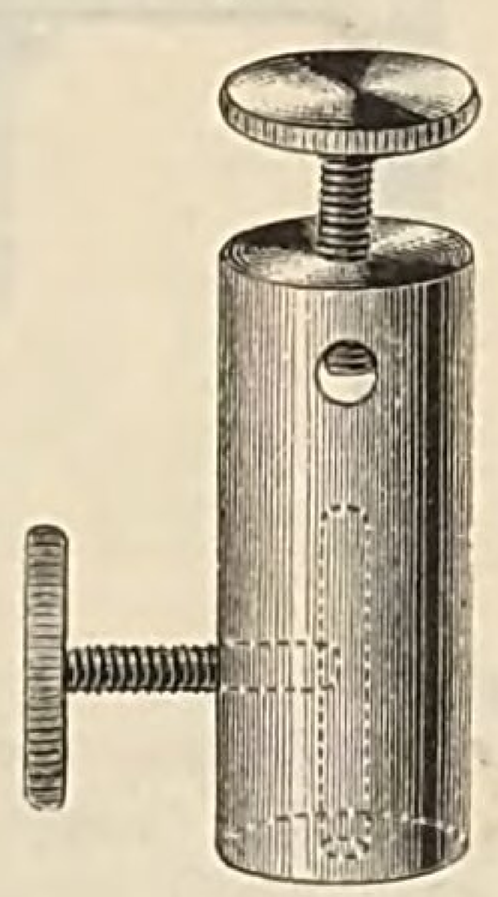
Figur 75.



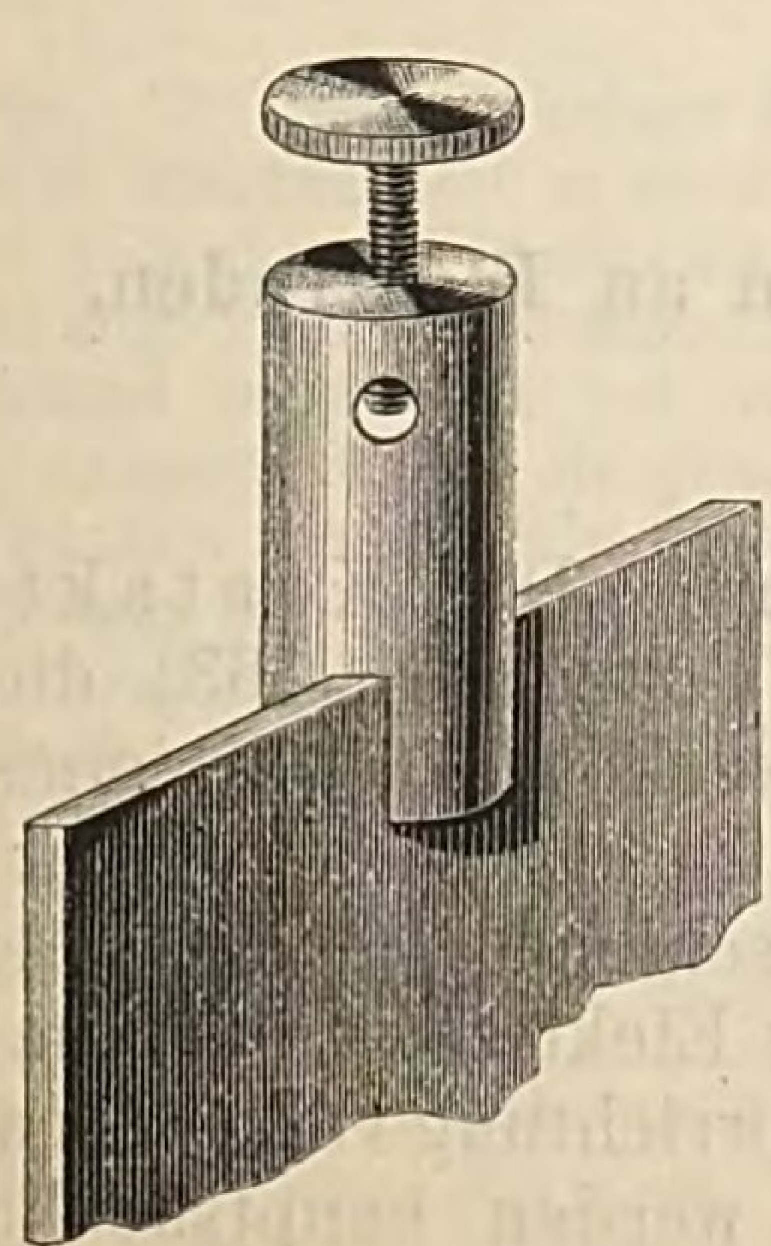
Figur 76.



Figur 77.



Figur 78.

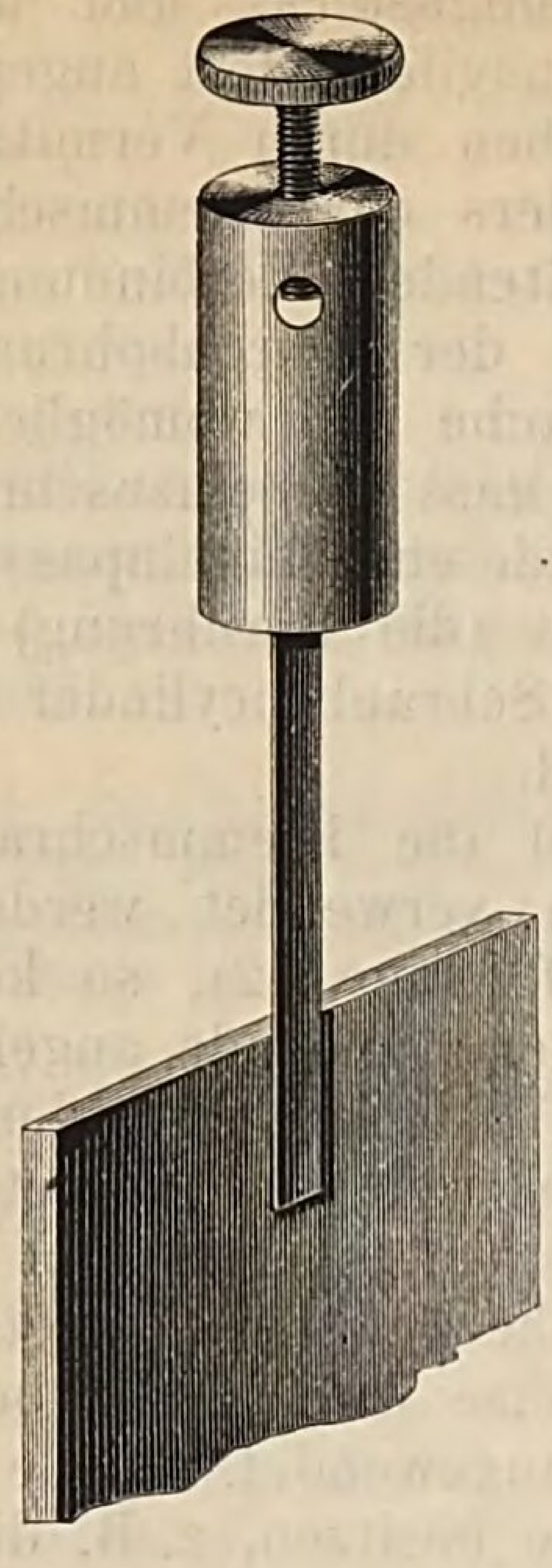


die beiden zu verbindenden Leitungsdrähte hineingesteckt und durch die Schrauben möglichst fest angepresst, so dass dieselben durch Vermittlung des Metallcylinders der Klemmschraube in sicherer leitender Verbindung stehen. Die Weite der Durchbohrungen der Klemmschraube soll womöglich nur so gross sein, dass die einzuschraubenden Drähte gerade eben hineinpassen, damit der Kontakt (die Berührung) zwischen Draht und Schraubencylinder ein recht inniger wird.

2). Sollen die Klemmschrauben als Polklemmen verwendet werden (siehe Antwort auf Frage 42), so können sie direkt an der Elektrode angelötet sein, siehe Figur 78, oder sie werden an einen an der Elektrode festgelöteten Draht oder Metallstreifen geschraubt oder festgelötet, siehe Figur 79. Letztere Befestigungsweise wird häufig bei solchen Elementen angewendet, welche geschlossene Gefässe besitzen, z. B. die Chromsäure-Elemente (siehe Antw. auf Frage 75) und die Leclanché-Elemente (siehe Antwort auf Frage 80). Soll der an die Elektrode gelötete Draht durch eine Flüssigkeit geführt werden, so wird er zum Schutz gegen die Einwirkung derselben mit einem Gummischlauch oder Hartgummirohr überzogen, wie z. B. bei den Elementen von *Tyer* (siehe Antwort auf Frage 61), *Maiche* (siehe Antwort auf Frage 74), *Minotto* (siehe Antwort auf Frage 93), *Meidinger* (siehe Antwort auf Frage 96), *Callaud* (siehe Antwort auf Frage 97), *Pincus* (siehe Antwort auf Frage 99), *Varley* [siehe Antw. auf Frage 100 unter 2).], *Lodge* (siehe Antwort auf Frage 101).

3). Die Klemmschrauben, welche zur Verbindung zweier Leitungsstreifen dienen, werden direkt auf den einen Leitungsstreifen aufgesetzt, siehe Figur 80; der andre Leitungsstreifen erhält alsdann einen zu der Schraube des ersten passenden Schlitz. Derartige Klemmvorrichtungen sind z. B. bei den Daniell- und Bunsen-Elementen verwendet (siehe die Antworten auf die Fragen 88 und 104 und die Erkl. 163—165).

Figur 79.

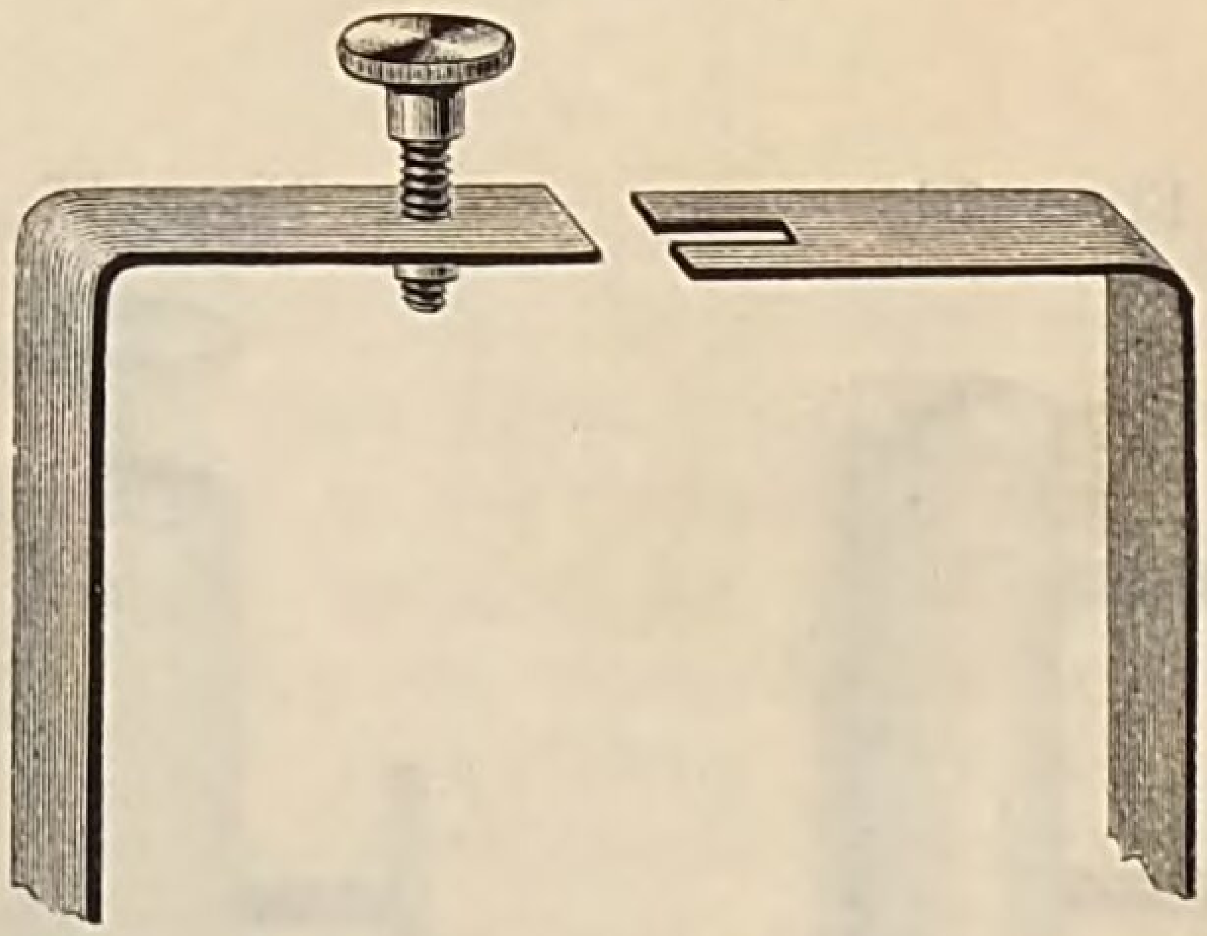


Erkl. 165. Um die in voriger Erklärung erwähnte metallische Oberfläche der Kontaktstellen zu erhalten, d. h. um sie vor dem oxydierenden Einfluss der Luft zu schützen, kann man sie mit Oleonaphta, Vaselin oder einem andern Mineralöl einreiben.

Erkl. 166. Die in nebenstehender Antwort unter 4). erwähnten Quecksilberverbindungen sind besser als die vorher beschriebenen Klemmschrauben, indem das Quecksilber die in dasselbe eintauchenden Enden der Metalldrähte amalgamiert und vor der Oxydation durch die Einwirkung der Luft schützt. Doch werden dieselben viel seltener angewendet, als die Klemmschrauben, weil letztere bequemer zu handhaben und billiger sind.

4). Statt der Klemmschrauben werden mitunter auch Quecksilbernäpfe angewendet (siehe Erkl. 166), z. B. bei dem Oerstedtschen Element (siehe Antwort auf Frage 51) und bei der Groveschen Gasbatterie (siehe Antwort auf Frage 123). Diese Näpfe werden an Leitungsdrähten oder an Leitungsstreifen befestigt und sind mit Quecksilber gefüllt; je zwei derselben werden miteinander leitend verbunden, indem ein Draht mit dem einen Ende in das Quecksilber des einen Napfes, mit dem andern Ende in das Quecksilber des zweiten Napfes eintaucht, wie dies bei dem Groveschen Gas-Element beschrieben ist (siehe Antw. auf Frage 123).

Figur 80.

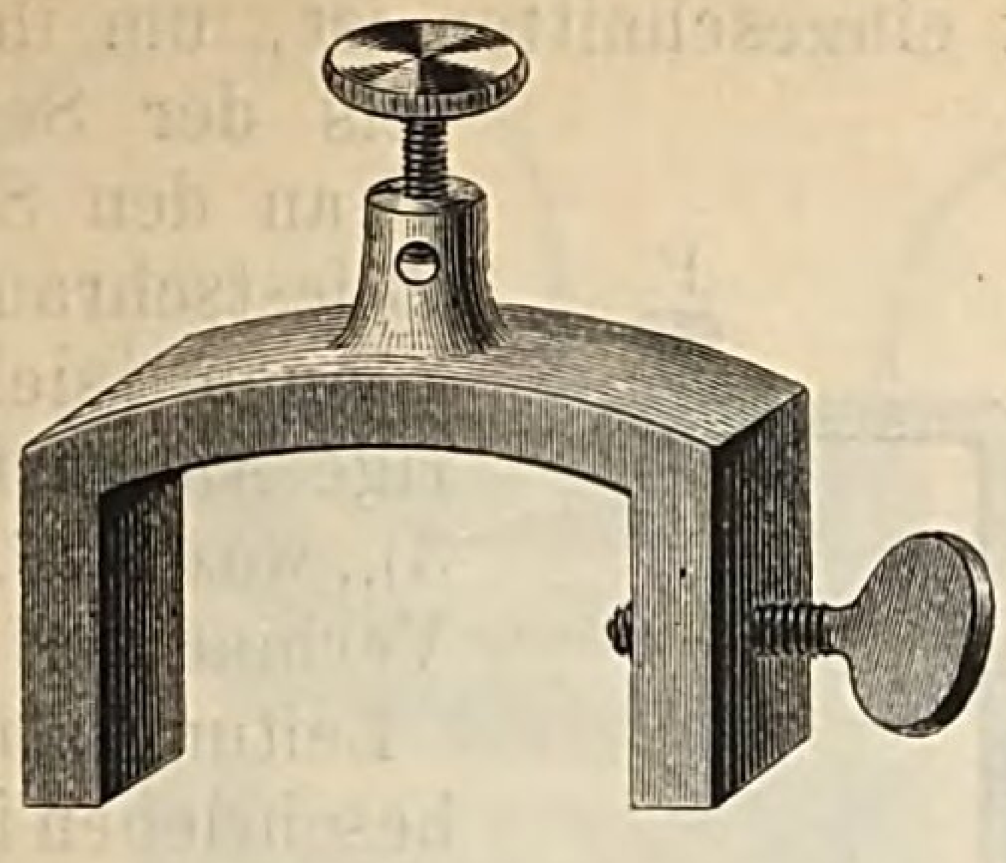


c). Ueber die Kontaktvorrichtungen an Elektroden.

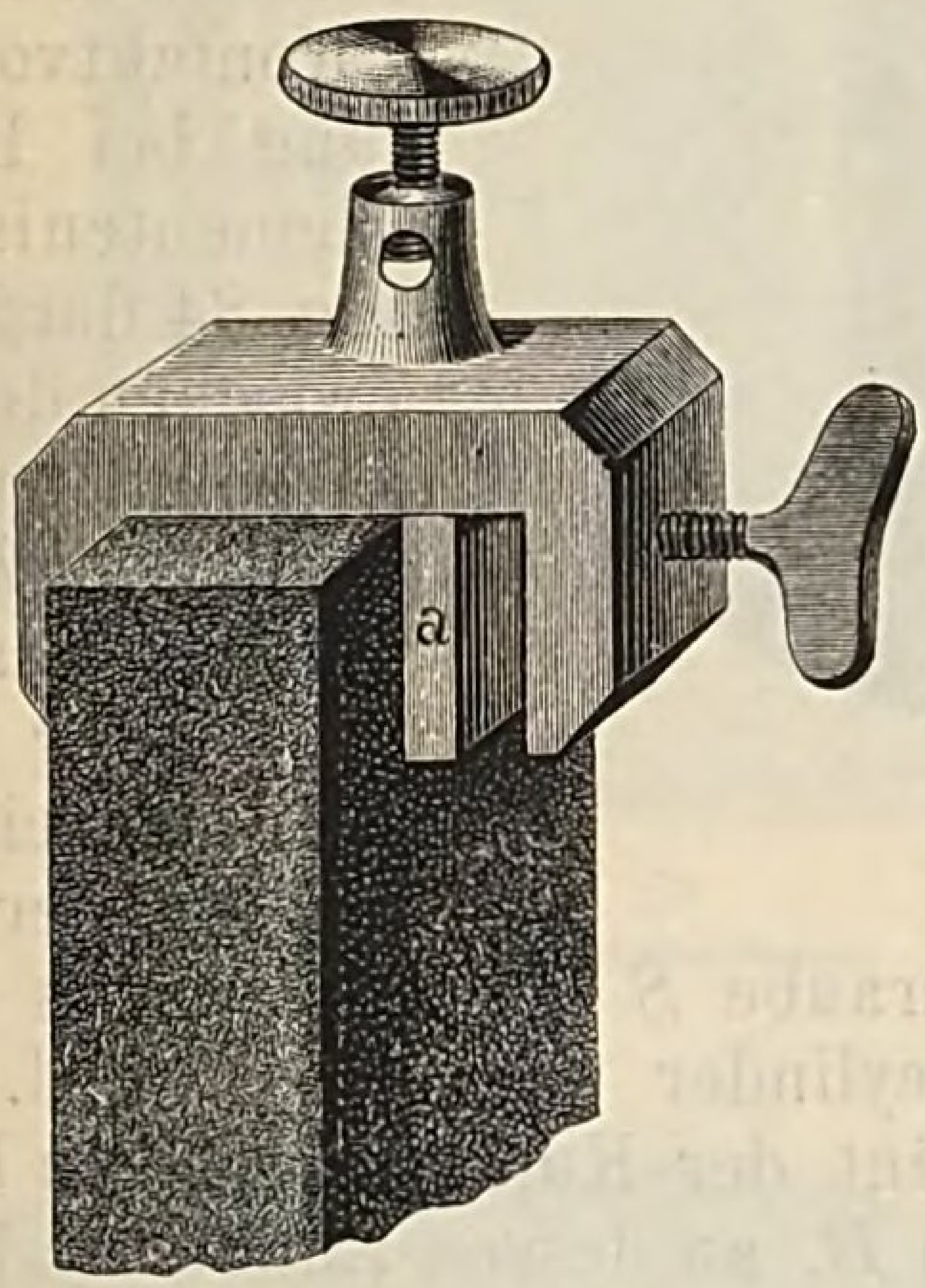
Frage 129. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch der am häufigsten angewendeten Kontaktvorrichtungen?

Antwort. Die Kontaktvorrichtungen (siehe Erkl. 163) dienen demselben Zweck wie die Klemmschrauben, sind von diesen jedoch mehr oder weniger verschieden, je nach der Art und Form der Elektroden, welche mit einer Kontaktvorrichtung versehen werden sollen. Sie werden hauptsächlich da angebracht, wo die Verwendung einer

Figur 81.



Figur 82.



Erkl. 167. Ausser den in nebenstehender Antwort unter 3). beschriebenen Kontaktvorrichtungen für Kohlenelektroden gibt es noch eine grosse Anzahl, welche zu Elementen für spezielle technische Zwecke konstruiert sind. Dieselben sind in den betreffenden technischen Lehrbüchern dieses Werkes beschrieben.

Erkl. 168. Bei jedem porösen Körper, welcher mit dem unteren Teil in einer Flüssigkeit steht, zieht sich diese Flüssigkeit infolge von Kapillarwirkung in den oberen Teil hinauf. Dieser Umstand verursacht bei allen Kohlenelektroden, namentlich bei denjenigen, welche in starken Säuren stehen, wie z. B. in Bunsen-Elementen, dass die metallischen Kontaktvorrichtungen zerstört werden. Um dies zu verhindern, tränkt man den oberen Teil der Kohlenelektrode (den sogen. Kopf) mit Wachs oder Paraffin. Zu diesem Zweck schmilzt man das Wachs oder Paraffin und taucht den Kopf der Elektrode, soweit als man ihn imprägnieren will, in die heisse geschmolzene Masse. Dabei saugen sich die Poren mit dem Wachs oder Paraffin voll, so dass nun beim Gebrauch der derart imprägnierten Elektrode die Flüssigkeit,

Klemmschraube nicht thunlich ist. Die gebräuchlichsten Kontaktvorrichtungen sind die folgenden:

1). Um einen Draht oder Metallstreifen mit einer prismatisch geformten Metallelektrode leitend zu verbinden, verwendet man den in Figur 81 dargestellten ∩förmigen, mit einer Klemmschraube versehenen Bügel, welcher durch eine seitliche Schraube an die Elektrode festgepresst wird. Leitungsdrähte werden durch die an dem Bügel angebrachte Klemmschraube befestigt; Leitungsstreifen werden zwischen den der seitlichen Schraube gegenüberliegenden Arm des Bügels und der Wand der Elektrode durch die Bügelschraube eingeklemmt.

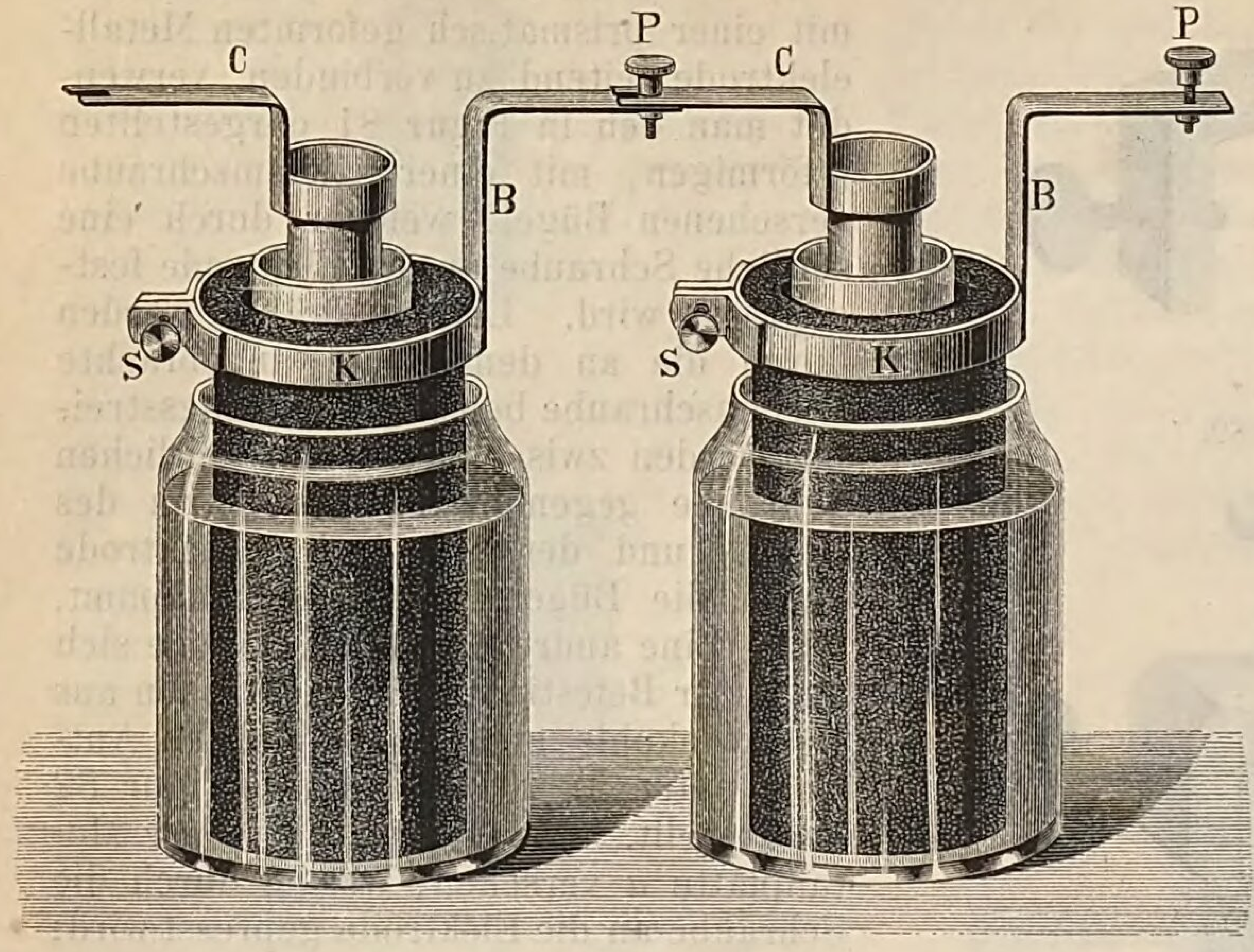
2). Eine andre Art Bügel, welche sich auch zur Befestigung an Elektroden aus Retortenkohle eignet [siehe diese Antwort unter 3). g).], ist durch Figur 82 dargestellt. Dieselbe ist mit einer Metallplatte *a* versehen, welche durch die Schraube an die Elektrode gepresst wird; dadurch wird die Kontaktfläche vergrössert und der Druck, welchen die Schraube auf die Kohle ausübt, auf eine grössere Fläche verteilt.

3). Die Herstellung einer leitenden Verbindung an Kohlenelektroden bietet besondere Schwierigkeiten, weil die poröse Kohle eine rauhe Oberfläche besitzt, wodurch die Kontaktfläche verringert wird, und weil die Kohle zerbrechlich ist, so dass man keinen energischen Schraubendruck anwenden kann. Diese Schwierigkeiten hat man auf mannigfache Weise zu beseitigen gesucht; die am meisten gebräuchlichen Einrichtungen sind die folgenden (s. Erkl. 168):

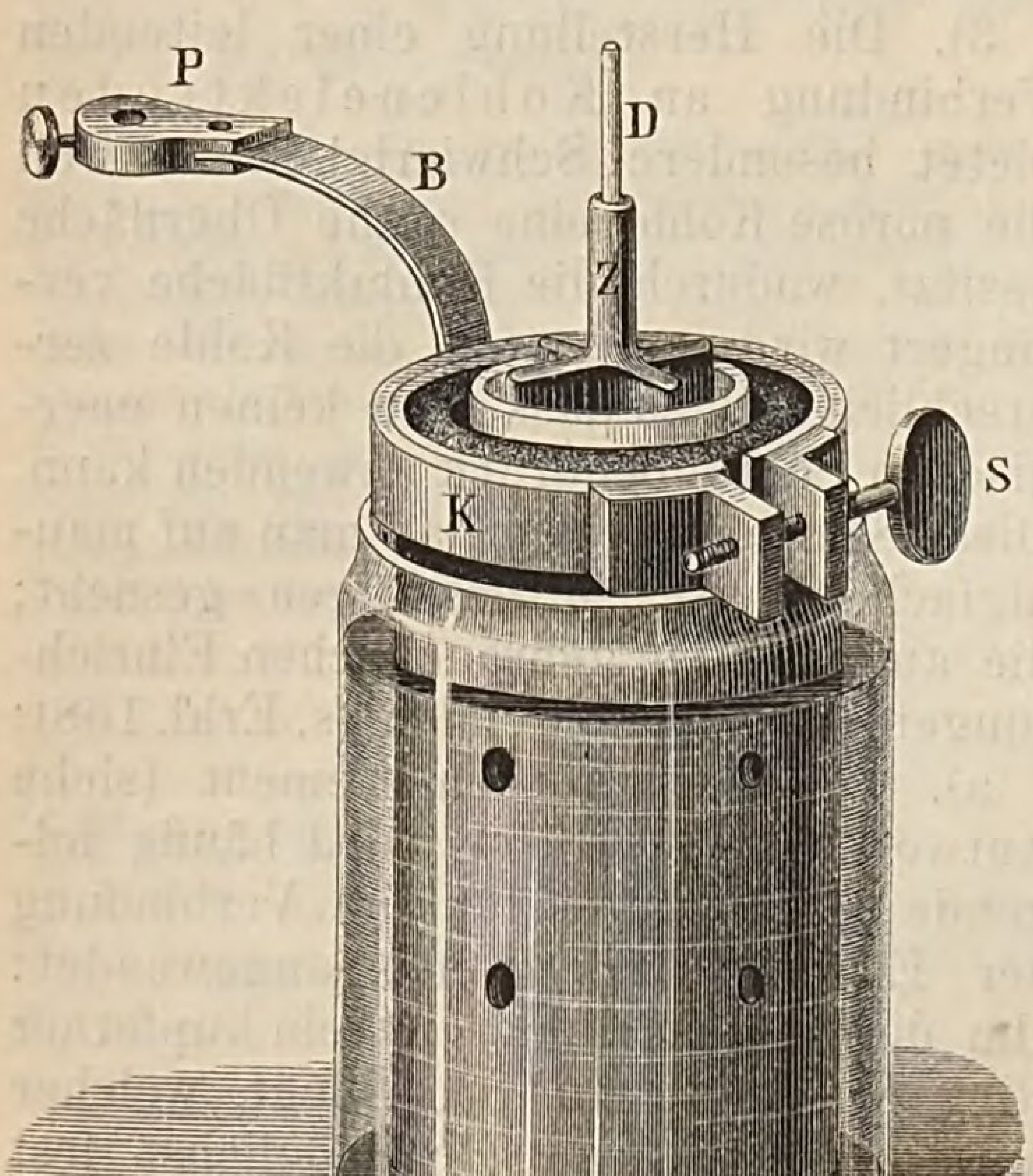
a). Bei dem Bunsen-Element (siehe Antwort auf Frage 104) wird häufig folgende Einrichtung für die Verbindung der Elemente zur Kette angewendet: Um die Kohlencylinder ist ein kupferner Ring *K*, siehe Figur 83, gelegt, welcher mittels der Schraube *S* möglichst fest an die Wandung des Kohlencylinders gepresst wird. An dem Ring *K* ist ein Kupferstreifen *B* angelötet, welcher eine Klemmschraube *P* trägt. An den Zinkcylinder des Elements ist ebenfalls ein

in welcher sie steht, nicht bis zu dem Metallkontakt aufsteigen kann (siehe Erkl. 169).

Figur 83.



Figur 84.

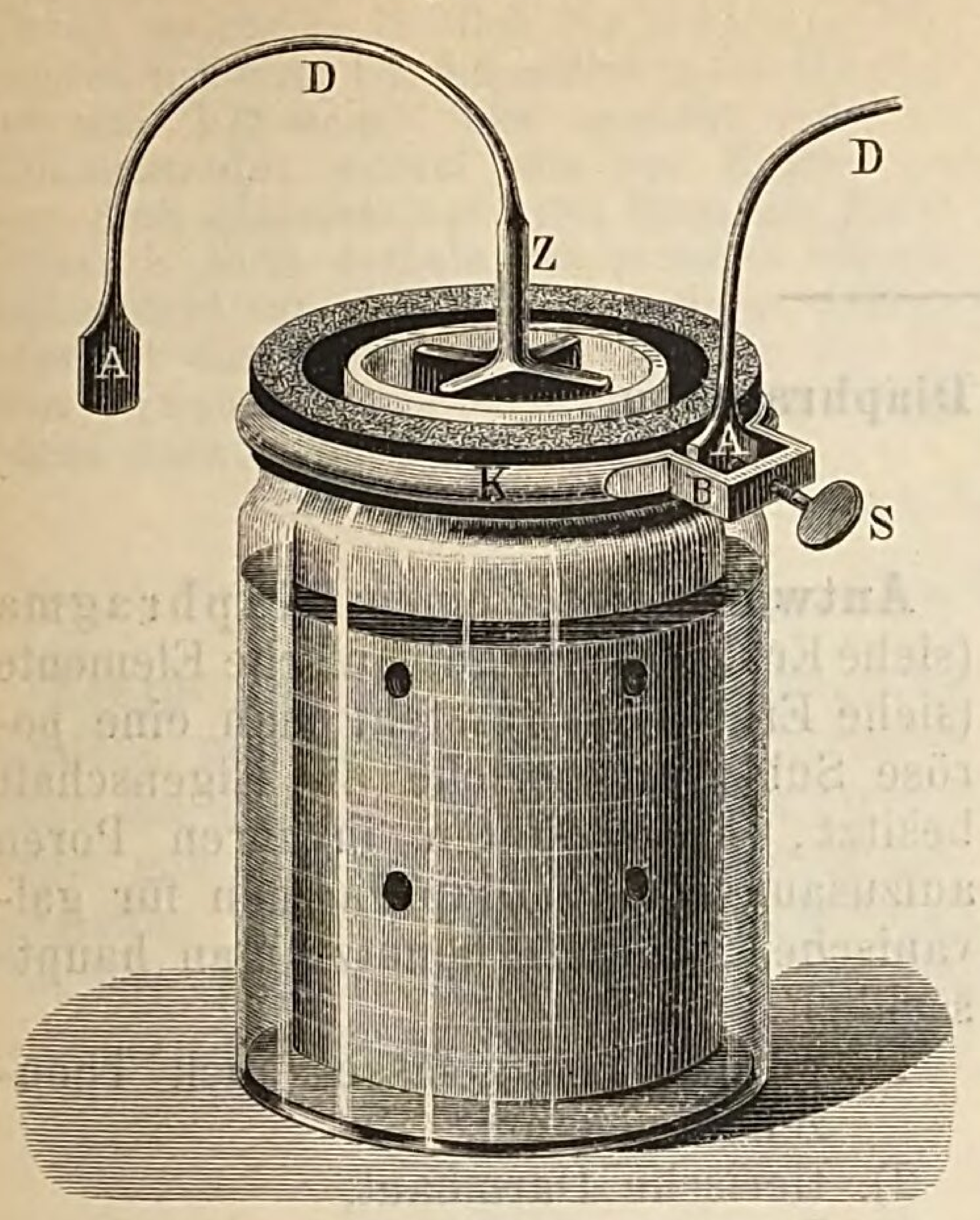


Kupferstreifen *C* gelötet, in welchen ein Schlitz eingeschnitten ist, um ihn mittels der Schraube *P* an den Streifen *B* festschrauben zu können [siehe vorige Antwort unter 3)., wo diese Art der Verbindung zweier Leitungsstreifen beschrieben ist, und Erkl. 167].

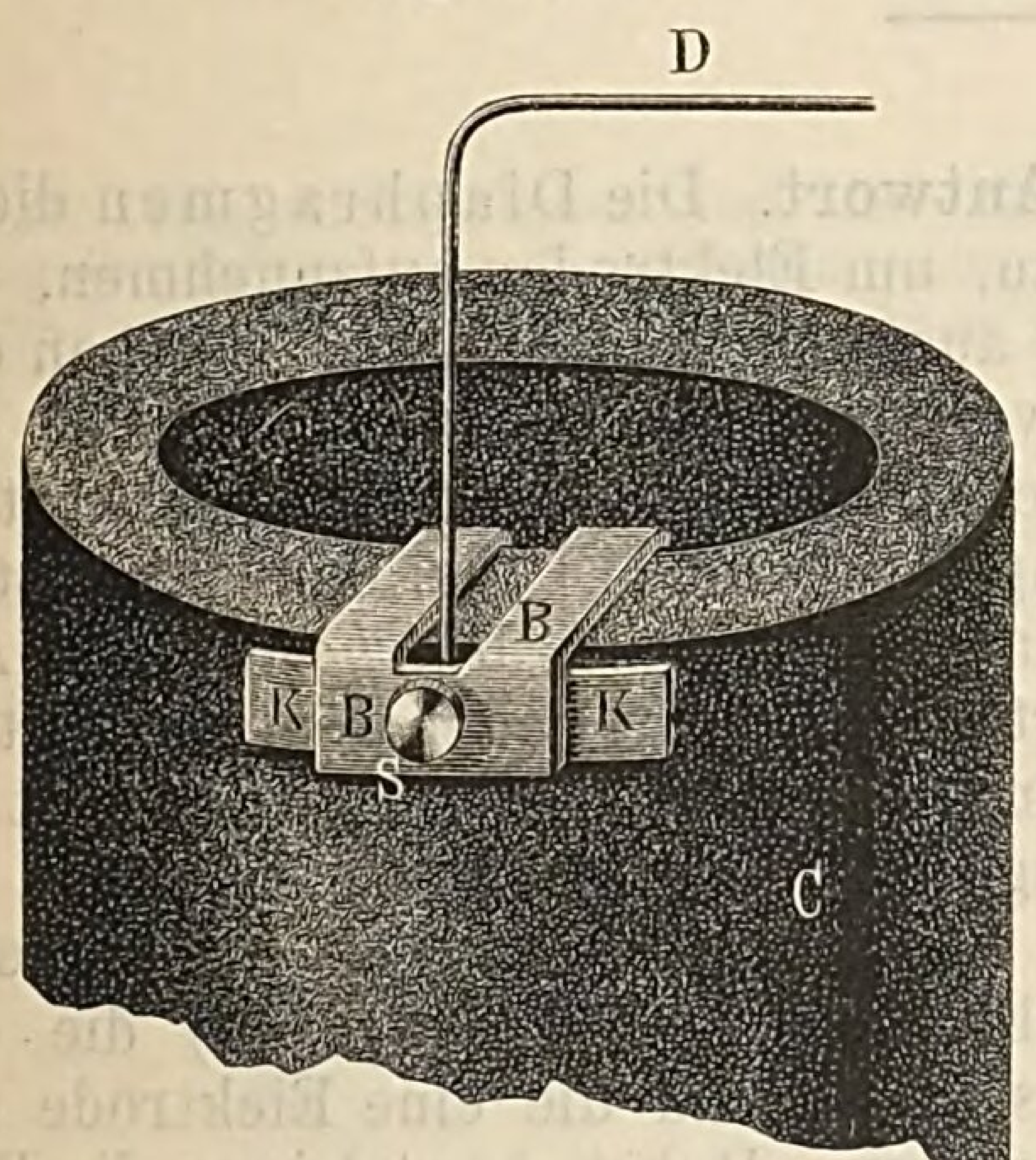
b). Eine der vorstehenden ähnliche Kontaktvorrichtung bei Bunsen-Elementen ist durch Fig. 84 dargestellt. Zwischen den Kohlencylinder und den Kupferring *K* [siehe dessen Beschreibung unter a).] ist ein Bleistreifen eingelegt, der durch die Schraube *S* des Kupferrings an den Kohlencylinder angepresst wird. Auch hier trägt der Kupferring einen Kupferstreifen *B*, an dessen Ende eine Klemmschraube *P* befestigt ist, in deren Schraubenöffnung der an dem Zinkcylinder *Z* eines zweiten Elements angelötete Kupferdraht *D* leicht eingeschraubt werden kann.

c). Häufige Anwendung findet die in Figur 85 dargestellte Kontaktvorrichtung an Bunsen-Elementen: Der Kupfer- oder Messingring *K* ist an den Kohlencylinder festgekittet, ausserdem ist derselbe auf der Fläche, mit welcher er den Kohlencylinder berührt, sorgfältig gefirnisst, damit er gegen die Einwirkung der in dem Kohlencylinder aufsteigenden Säure (siehe Erkl. 168) geschützt ist. *B* ist ein an dem Kupferring angebrachter Bügel, welcher die Schraube *S* trägt. In diesen Bügel passt das Kupferplättchen *A*, welches an dem Ende des an den Zinkcylinder *Z* eines zweiten Elements gelöteten biegsamen Drahts *D* angebracht ist. Dieses Plättchen *A* wird durch die Schraube *S* fest an den Kohlencylinder gepresst.

Figur 85.



Figur 86.



Erkl. 169. Wachs und Paraffin werden von Säuren nicht angegriffen.

Erkl. 170. Platin bleibt an der Luft blank (es oxydiert nicht) und wird von Säuren nicht angegriffen. Wird daher, wie in nebenstehender Antwort unter d). erwähnt, das Kupferblech mit Platin überzogen (platiniert), so wird es dadurch vor der Einwirkung der Säuren geschützt und bildet einen dauerhaften guten metallischen Kontakt.

Erkl. 171. Zur Herstellung dieser in nebenstehender Antwort unter 3). e). erwähnten Guss-

d). Figur 86 zeigt eine sehr einfache, bequem zu handhabende Kontaktvorrichtung für Kohlenelektroden: Der Draht *D* trägt an seinem einen Ende ein Kupferblech *K*, welches gegen die Wandung des Kohlencylinders *C* gelegt und durch den mit Schraube *S* versehenen Bügel *B* an den Cylinder *C* festgedrückt wird. Der Bügel ist geschlitzt, um den Draht *D* durchzulassen. Zum Schutz des Kupferblechs *K* ist es vorteilhaft, dasselbe zu platinieren (siehe Erkl. 170). Der Draht *D* kann mit seinem andern Ende entweder durch Vermittlung einer Klemmschraube oder durch Anlöten mit dem Zinkcylinder eines zweiten Elements verbunden sein.

e). Der Kopf der Kohlenprismen (siehe z. B. die Leclanché-Elemente in Antwort auf Frage 80) wird auch mit einem Gussstück aus Zink oder Blei versehen. Zum Schutz dieses Gusskopfes wird der obere Teil der Kohlenelektrode sorgfältig mit Paraffin getränkt (siehe Erkl. 168).

f). Man versieht den Kopf der Kohlenelektrode mit einem galvanoplastischen Niederschlag von Kupfer und lötet an diesen einen Kupferstreifen an (siehe Erkl. 172).

g). Wenn man statt der Bunsenschen Kohle (siehe Erkl. 128) die weniger zerbrechliche, dichtere Retortenkohle (siehe Erkl. 131), welche eine glattere Oberfläche besitzt, verwendet, so kann man als Kontaktvorrichtung den unter 2). angegebenen Bügel verwenden.

h). Man kann auch gleich bei der Herstellung der Kohlenelektrode (siehe Erkl. 128) einen Leitungsdraht in dieselbe hineinpressen. Dabei ist es, um einen guten Halt zu geben, vorteilhaft, dem Draht innerhalb der Kohle eine zickzackförmige Biegung zu geben.

stücke wird das geschmolzene Metall in eine Form gegossen, der Kopf der Kohlenelektroden hineingetaucht und erkalten lassen.

Erkl. 172. Ausführliches über die galvanische Verkupferung findet man in *May*s Lehrbuch der Elektrolyse.

d). Ueber die Diaphragmen.

Frage 130. Was versteht man unter einem Diaphragma für galvanische Elemente und welche Materialien werden hauptsächlich als Diaphragmen für galvanische Elemente benutzt?

Erkl. 173. Diaphragma (griech. *διάφραγμα*) heisst Scheidewand, Zwergfell.

Erkl. 174. Der in nebenstehender Antwort definierte Ausdruck Diaphragma wird auch in der Optik gebraucht; es bezeichnet dort die sogenannte Blendung an Mikroskopen und Fernrohren. Ausführliches darüber findet man in dem Lehrbuch der Optik dieses Gesamtwerkes.

Antwort. Unter einem Diaphragma (siehe Erkl. 173) für galvanische Elemente (siehe Erkl. 174) versteht man eine poröse Substanz, welche die Eigenschaft besitzt, Flüssigkeiten in ihren Poren aufzusaugen. Als Diaphragmen für galvanische Elemente benutzt man hauptsächlich:

1). poröse Thongefässe (auch Thonzellen genannt),
2). tierische Darmhaut,
3). Pergamentpapier,
4). poröse Papiermasse.

Frage 131. Zu welchen Zwecken werden die Diaphragmen in galvanischen Elementen angewendet?

Erkl. 175. Bei einer grossen Anzahl von Elementen mit zwei Flüssigkeiten wird die Mischung derselben ohne Zuhülfenahme eines Diaphragmas durch die Verschiedenheit des spezifischen Gewichts beider Flüssigkeiten verhindert. Diese Elemente enthalten im unteren Teile des Gefässes die spezifisch schwerere Flüssigkeit und auf derselben steht die spezifisch leichtere. Solche Elemente müssen vorsichtig gefüllt (siehe Erkl. 176) und dürfen keiner schüttelnden Bewegung ausgesetzt werden, damit sich die Flüssigkeiten nicht mischen (siehe Erkl. 147). Derartige Elemente mit zwei Flüssigkeiten ohne Diaphragmen sind angegeben von *Meidinger*, *Callaud*, *Candido*, *Pincus*, *Varley* etc. (siehe die Antworten auf die Fragen 96—100 und Erkl. 177).

Erkl. 176. Wird bei den in Erkl. 175 erwähnten Elementen das Salz, welches sich zu der spezifisch schwereren Flüssigkeit lösen soll, wie z. B. bei den Elementen von *Meidinger* (siehe Antwort auf Frage 96), in fester Form eingefüllt, so bietet die Füllung des Elements die in Erkl. 175 erwähnte Schwierigkeit nicht.

Erkl. 177. Befindet sich eines der in Erklärung 175 erwähnten Elemente ohne Diaphragma ausser Gebrauch, d. h. wird dessen elektrischer Strom unterbrochen, so mischen

Antwort. Die Diaphragmen dienen dazu, um Elektroden aufzunehmen, welche aus mehreren Stücken bestehen oder pulverförmig sind, wie z. B. bei dem Leclanché-Element [siehe Antwort auf Frage 80 unter 1).], bei dem Braunstein-Element von *Clark-Muirhead* (siehe Antwort auf Frage 81) oder dem Braunstein-Element von *Howell* (siehe Antwort auf Frage 83); ferner dienen sie dazu, um bei Elementen mit zwei Flüssigkeiten (siehe Antwort auf Frage 84) die eine Flüssigkeit und die eine Elektrode aufzunehmen. Dabei durchdringt die Flüssigkeit, welche in dem Diaphragma enthalten ist, die Poren desselben und kommt hierbei mit der Flüssigkeit des äusseren Gefässes des Elements in Berührung, ohne sich mit derselben zu mischen, selbst wenn das Element bewegt (transportiert) wird (siehe die Erkl. 175 bis 177).

sich die beiden Flüssigkeiten: die Kupfervitriollösung, welche ja in allen der erwähnten Elementen enthalten ist, diffundiert in die darüberstehende Flüssigkeit und erreicht bald die Zinkelektrode, worauf sich das Kupfer auf dem Zink niederschlägt. Bei längerem Nichtgebrauch muss deshalb die unterste Flüssigkeitsschicht von Zeit zu Zeit entfernt werden, entweder durch einen Heber oder in der bei dem Pincus-Element angegebenen Weise (siehe Antwort auf Frage 99).

e). Ueber die Tauchbatterien.

Frage 132. Welcher Vorrichtungen bedient man sich, um zu verhindern, dass die Elektroden bei offenem Stromkreis von den Säuren der Elemente angegriffen werden, und wie nennt man die Batterien, welche mit einer solchen Vorrichtung versehen sind?

Antwort. Durch die in den Elementen enthaltenen Säuren werden die Elektroden auch angegriffen, wenn die Säule nicht geschlossen ist (bei offenem Stromkreis, siehe Antwort auf Frage 36). Um diese nutzlose Auflösung zu verhindern, müssen die Elektroden der Elemente jedesmal nach dem Gebrauch aus der Flüssigkeit gehoben werden. Zur Vereinfachung dieser Manipulation, welche namentlich bei einer aus vielen Elementen bestehenden Säule beschwerlich und zeitraubend ist, dienen Hebervorrichtungen, mittels deren diese Manipulation an sämtlichen Elektroden gleichzeitig ausgeführt wird. Dieselben sind meist so eingerichtet, dass man nicht allein die Elektroden ganz aus der Flüssigkeit herausheben kann, sondern dass man auch die Elektroden nach Belieben mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit einsenken und dadurch die Stromstärke vergrössern oder verkleinern kann (siehe Erkl. 178). Eine mit einer solchen Hebervorrichtung versehene Säule nennt man eine Tauchbatterie.

Erkl. 178. Ausführliches über die Veränderung der Stromstärke durch Veränderung der Elektrodenoberfläche findet man in einem späteren Abschnitt.

Frage 133. Worin besteht die Einrichtung der bekanntesten Tauchbatterien?

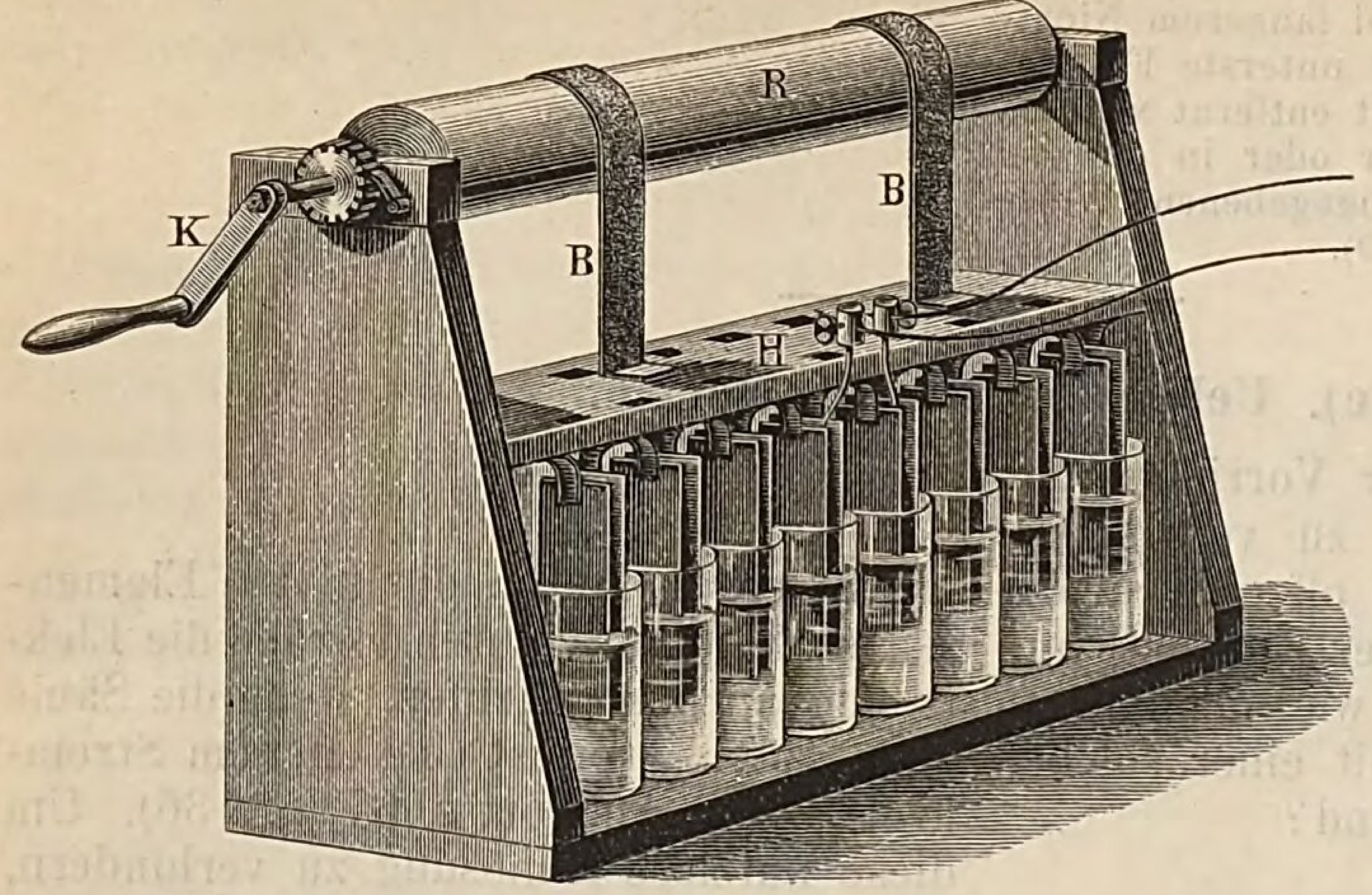
Antwort. Die Tauchbatterien existieren in sehr mannigfaltigen Formen (siehe Erkl. 179); einige der bekanntesten sind folgendermassen eingerichtet:

1). Die Drähte oder Bleche, welche die Zink- und Kupferplatten der in Figur 30 dargestellten Voltaschen Bechersäule verbinden, sind an einem hölzernen Brett *H*, siehe Figur 87, befestigt. Das Brett *H* wird durch zwei Bänder *B*, welche

Erkl. 179. Die Tauchbatterien sind meist für spezielle technische Zwecke konstruiert und daher in den betreffenden technischen Lehrbüchern dieses Werkes beschrieben.

an der Rolle *R* befestigt sind, frei schwebend gehalten. Durch die an der

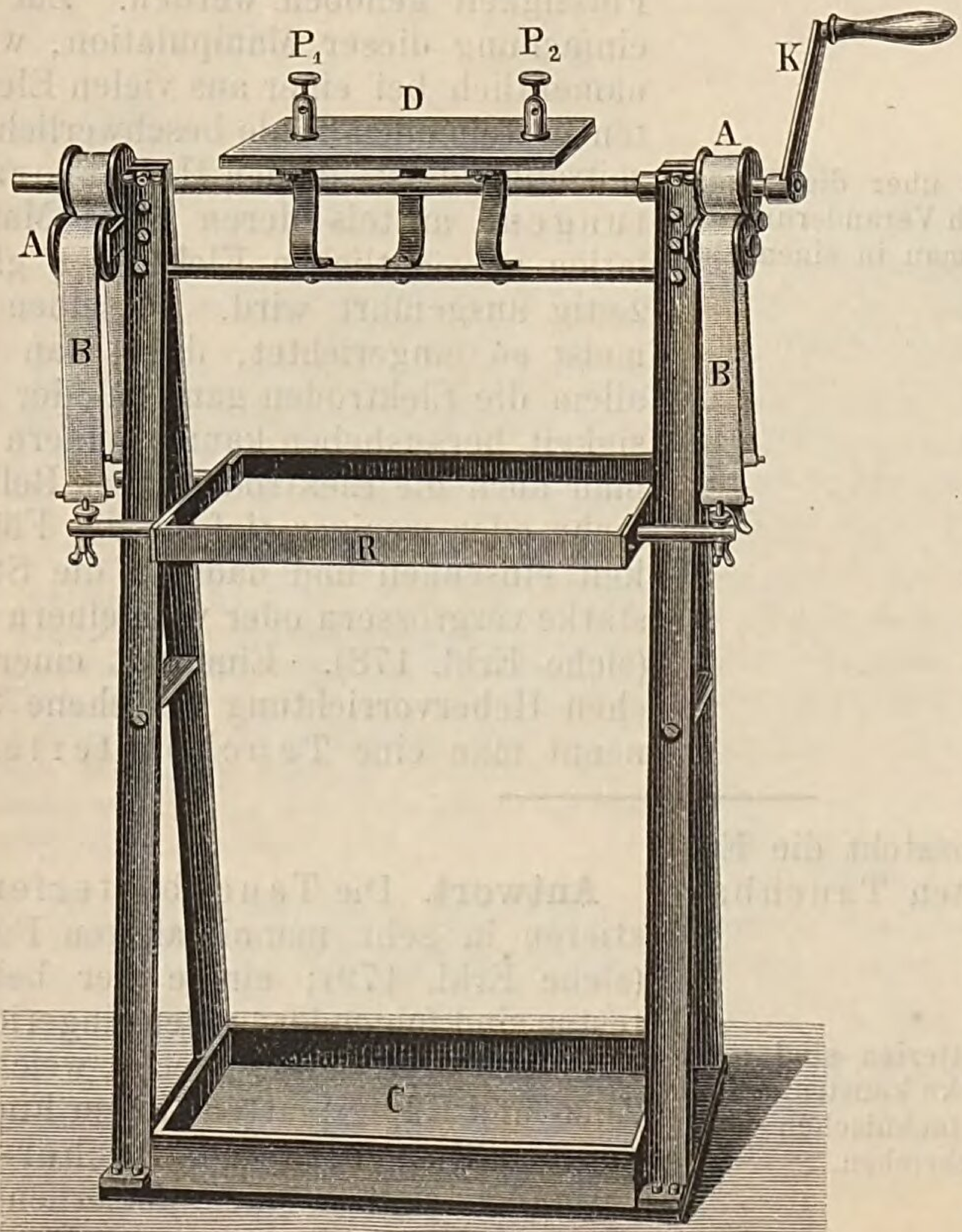
Figur 87.



Rolle *R* sitzende Kurbel *K* können nun die Metallplatten gleichzeitig und rasch nach Belieben in die Flüssigkeit der Gefässe gesenkt oder aus derselben herausgehoben werden. Eine Sperrklinke, welche in ein auf der Kurbelachse sitzendes Zahnrad eingreift, bewirkt, dass die Rolle *R* in jeder gewünschten Lage feststeht.

2). Eine sehr einfache Tauchbatterie ist die Wollastonsche Säule, wie sie in Figur 36 dargestellt ist (siehe Antwort auf Frage 50).

Figur 88.



3). Figur 88 zeigt das Gestell einer von *Bunsen* konstruierten Tauchbatterie von Chromsäure-Elementen. *R* ist ein Rahmen, an welchen die Elektroden einer Anzahl Elemente aufgehängt werden; dieser Rahmen ist an Bändern *B* befestigt, welche über die Rollen *A* laufen; durch Drehung der Kurbel *K* kann der Rahmen *R* an den Bändern *B* auf- und abbewegt werden. Auf die Bodenplatte *C* werden die Elementgefässe so aufgestellt, dass sie genau unter ihren an dem Rahmen *R* befestigten Elektroden stehen. Auf dem an dem Apparat angebrachten Brett *D* sind zwei Klemmschrauben P_1 und P_2 angebracht, welche mit den Polen der Batterie durch Drähte verbunden werden.

f). Ueber die Einrichtungen zum Füllen und Entleeren der Elemente.

Frage 134. Welcher Einrichtungen bedient man sich zum Füllen und Entleeren der Elemente?

Antwort. Für gewöhnliche wissenschaftliche Zwecke genügt es, zum Füllen und Entleeren der Elemente sich der einfachsten Mittel zu bedienen. Für den regelmässigen Gebrauch von Batterien, welche aus sehr vielen Elementen zusammengesetzt sind, wie dies die verschiedenen technischen Anwendungen des elektrischen Stroms erfordern, bedient man sich verschiedener Einrichtungen, welche alle den Zweck haben, diese Arbeiten möglichst rasch und sicher zu verrichten (siehe Erkl. 180).

Erkl. 180. Ausführliches über die in nebenstehender Antwort erwähnten Einrichtungen für technische Zwecke findet man in den speziellen Lehrbüchern dieses Werkes.

g). Ueber die Einrichtungen zum Bewegen der Flüssigkeiten oder der Elektroden der Elemente.

Frage 135. Zu welchem Zweck dienen die Vorrichtungen zum Bewegen der Elektroden oder der Flüssigkeiten der galvanischen Elemente?

Antwort. Der elektrische Strom aller galvanischen Elemente, ganz besonders derjenigen mit einer Flüssigkeit ist mehr oder weniger inkonstant, d. h. er nimmt bei längerem Stromschluss allmählich ab (siehe Erkl. 97). Die Ursache dieser Stromschwächung sucht man unter anderm zu beseitigen:

1). durch Bewegen der Flüssigkeit, bezw. der negativen Elektrode (siehe Antwort auf Frage 42);

2). durch beständige Erneuerung der Flüssigkeit;

3). durch zeitweiliges Herausheben der negativen Elektrode aus der Flüssigkeit (siehe Erkl. 181);

4). durch Einblasen von Luft (siehe Erkl. 182) an die negative Elektrode.

Zur Ausführung dieser Verfahren sind mannigfaltige mechanische Einrichtungen konstruiert worden; dieselben haben jedoch im allgemeinen wenig Anwendung gefunden.

Erkl. 181. Zur Ausführung der in nebenstehender Antwort unter 3). genannten Manipulation verwendet man vorteilhaft die Einrichtung einer Tauchbatterie (siehe Antwort auf Frage 133).

Erkl. 182. Ausführliches über die in nebenstehender Antwort erwähnte Stromschwächung und deren Ursache findet man in einem späteren Abschnitt. Es sei hier nur bemerkt, dass sich bei den erwähnten Elementen an der negativen Elektrode Wasserstoff abscheidet. Durch das Bewegen der Flüssigkeiten oder Elektroden der Elemente (siehe nebenstehende Antwort) wird dieser ausgeschiedene Wasserstoff mechanisch entfernt und mit ihm die Ursache der Stromschwächung; durch das Herausheben der Elektroden aus der Flüssigkeit und Wiedereinsenken derselben wird den Elementen Sauerstoff aus der Luft zugeführt, welcher den sich abscheidenden Wasserstoff oxydiert (siehe Erklärung 183).

Erkl. 183. Eine eigentümliche Art der Lüftung (siehe vorige Erklärung) wird durch das Pulvermachersche Zink-Silber-Element (siehe Antwort auf Frage 69) erreicht, bei welcher die negative (Silber-) Elektrode dem beständigen Einfluss der Luft ausgesetzt ist.

h). Ueber die transportablen Rheomotoren.

Frage 136. Was versteht man unter einem transportablen Rheomotor?

Antwort. Unter einem transportablen Rheomotor versteht man einen

Rheomotor, welcher so eingerichtet ist, dass heftige Erschütterungen, wie sie beim Transport nicht vermieden werden können, auf die Bestandteile und auf die Wirkung derselben keinen nachteiligen Einfluss ausüben.

Frage 137. Welche von den in diesem Abschnitt beschriebenen Elementen bezw. Ketten eignen sich besonders zum Transport?

Antwort. Von den in den Antworten auf die Fragen 26 und 44 bis 123 beschriebenen Elementen bezw. Ketten sind besonders die folgenden zum Transport geeignet (siehe Erkl. 184):

1). die Voltaschen Säulen (siehe Antwort auf Frage 26 und Erkl. 100),
2). die Pulvermachersche Kette (siehe Erkl. 102),
3). Bagrations Sand-Element (siehe Antwort auf Frage 66),
4). das Zink-Silber-Element von Pulvermacher (siehe Antwort auf Frage 69),
5). Trouvés Daniell-Element (siehe Antwort auf Frage 92).

Erkl. 184. Ausser den in nebenstehender Antwort bezeichneten ist eine grosse Zahl von andern transportablen Rheomotoren angegeben worden. Dieselben dienen namentlich zu militärischen, medicinischen und andern technischen Zwecken. Die bekanntesten derselben sind in den betreffenden technischen Lehrbüchern dieses Werkes beschrieben.

i). Ueber die verschiedenen Arten der Verbindung von Elementen zu Batterien und über die Apparate zur Veränderung der Elementverbindungen.

Frage 138. In welcher Weise können die Elemente zu einer Batterie verbunden (geschaltet) werden?

Antwort. Die Elemente können nicht nur in der Art einer Voltaschen Säule, wie sie in Antwort auf Frage 26 beschrieben ist, miteinander verbunden (geschaltet) werden, sondern, je nach ihrer Anzahl, in mehr oder weniger zahlreichen verschiedenen Kombinationen (Schaltungsweisen) (siehe Erklärung 185).

So lässt sich z. B. eine Anzahl von 6 Elementen in folgender Weise kombinieren:

In den Figuren 89 bis 92 sind einfache Voltasche Becherelemente (siehe Antwort auf Frage 45) in schematischer Weise dargestellt. In allen diesen Figuren bedeutet der kräftige Strich die Kupferplatte (den positiven Pol), der dünne Strich die Zinkplatte (den negativen Pol), die Zeichen + und — bezeichnen die Pole, der das Ganze umschliessende Kreis bedeutet das mit Säure

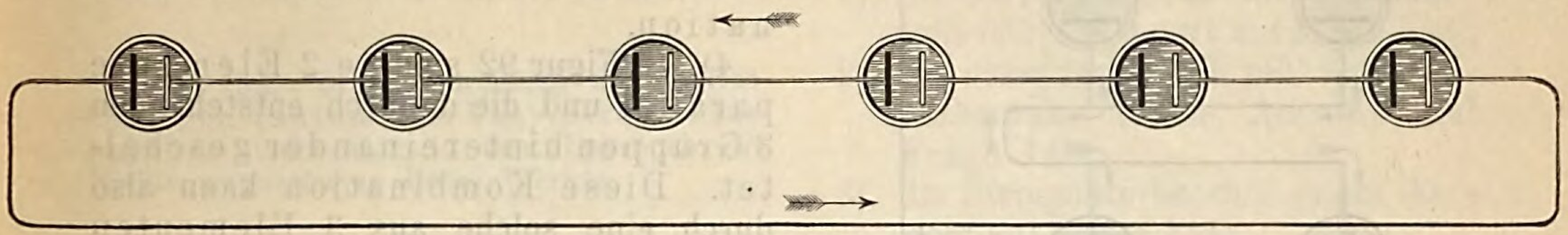
Erkl. 185. Die Gründe, welche zur Anwendung einer bestimmten Elementverbindung (Schaltungsweise) massgebend sind, findet man in einem späteren Abschnitt.

Erkl. 186. Selbstverständlich kann man statt der in nebenstehender Antwort erwähnten einfachen Voltaschen Elemente auch beliebige andre Elemente benutzen (siehe Erkl. 187).

Erkl. 187. Die in nebenstehender Antwort beschriebene schematische Darstellungsweise der Elemente bezw. Batterien ist in diesem Lehrbuche durchgehends angewendet.

gefüllte Elementgefäss (siehe die Erkl. 186 und 187).

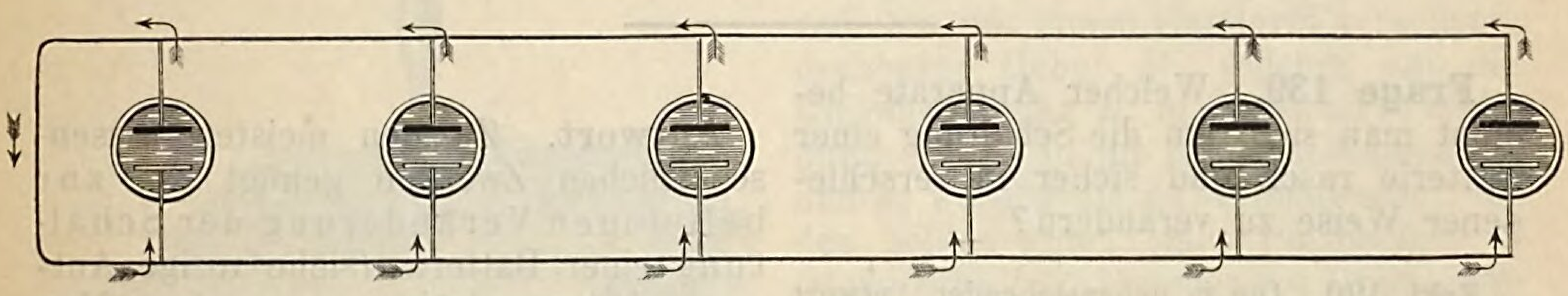
Figur 89.



Erkl. 188. Die in nebenstehender Antwort unter 1). bezeichnete und durch Figur 89 dargestellte Art der Verbindung von Elementen zu einer Batterie nennt man die Hintereinander-Schaltung der Elemente.

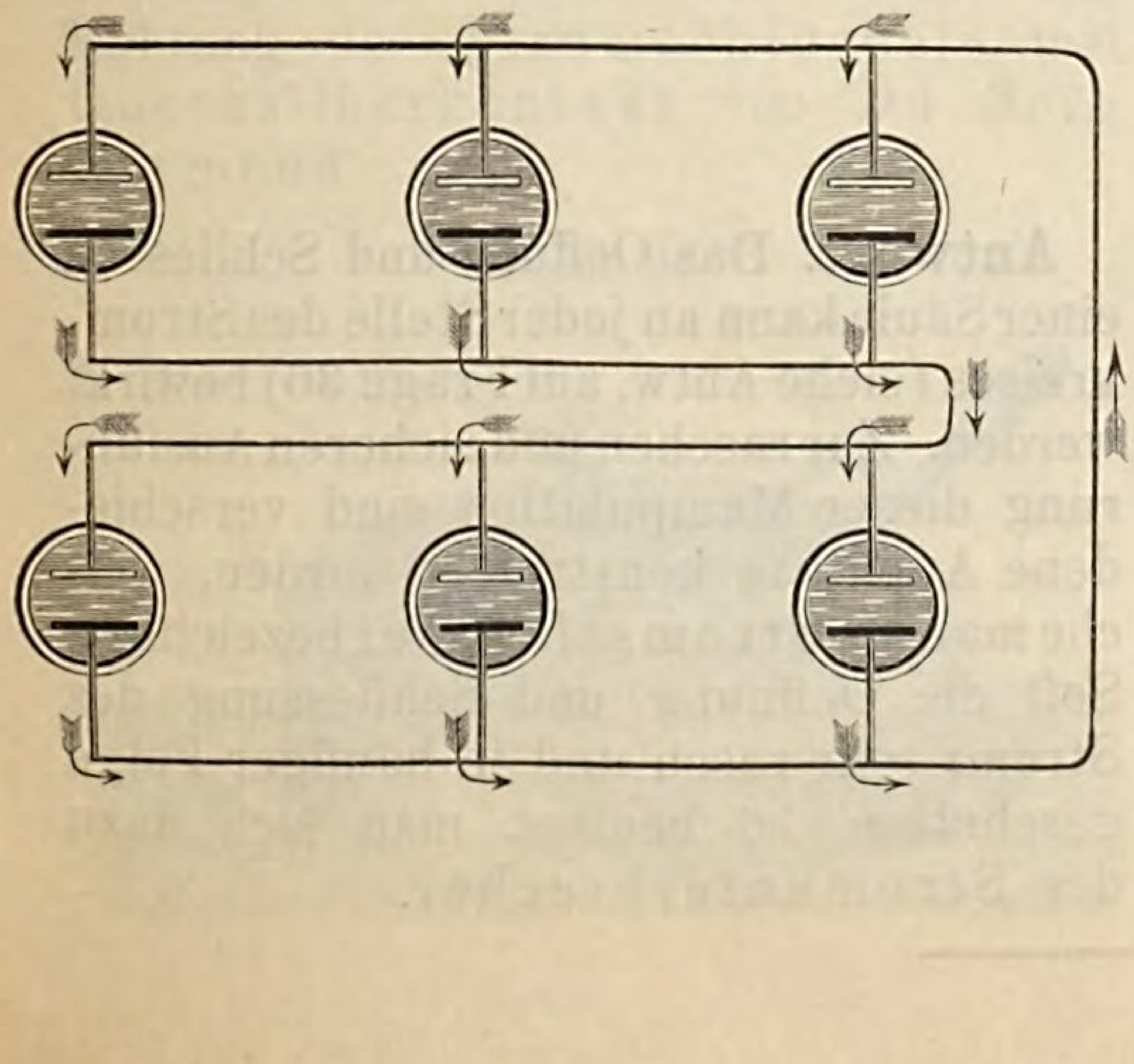
1). Figur 89 bezeichnet die in Antwort auf Frage 45 angegebene Kombination (Schaltung); hier ist also jeder positive Pol eines Elements mit dem negativen des benachbarten Elements verbunden (siehe Erkl. 188).

Figur 90.



Erkl. 189. Die in nebenstehender Antwort unter 2). bezeichnete Verbindung von Elementen zu einer Batterie nennt man die Parallel-Schaltung (d. h. Nebeneinander-Schaltung) der Elemente.

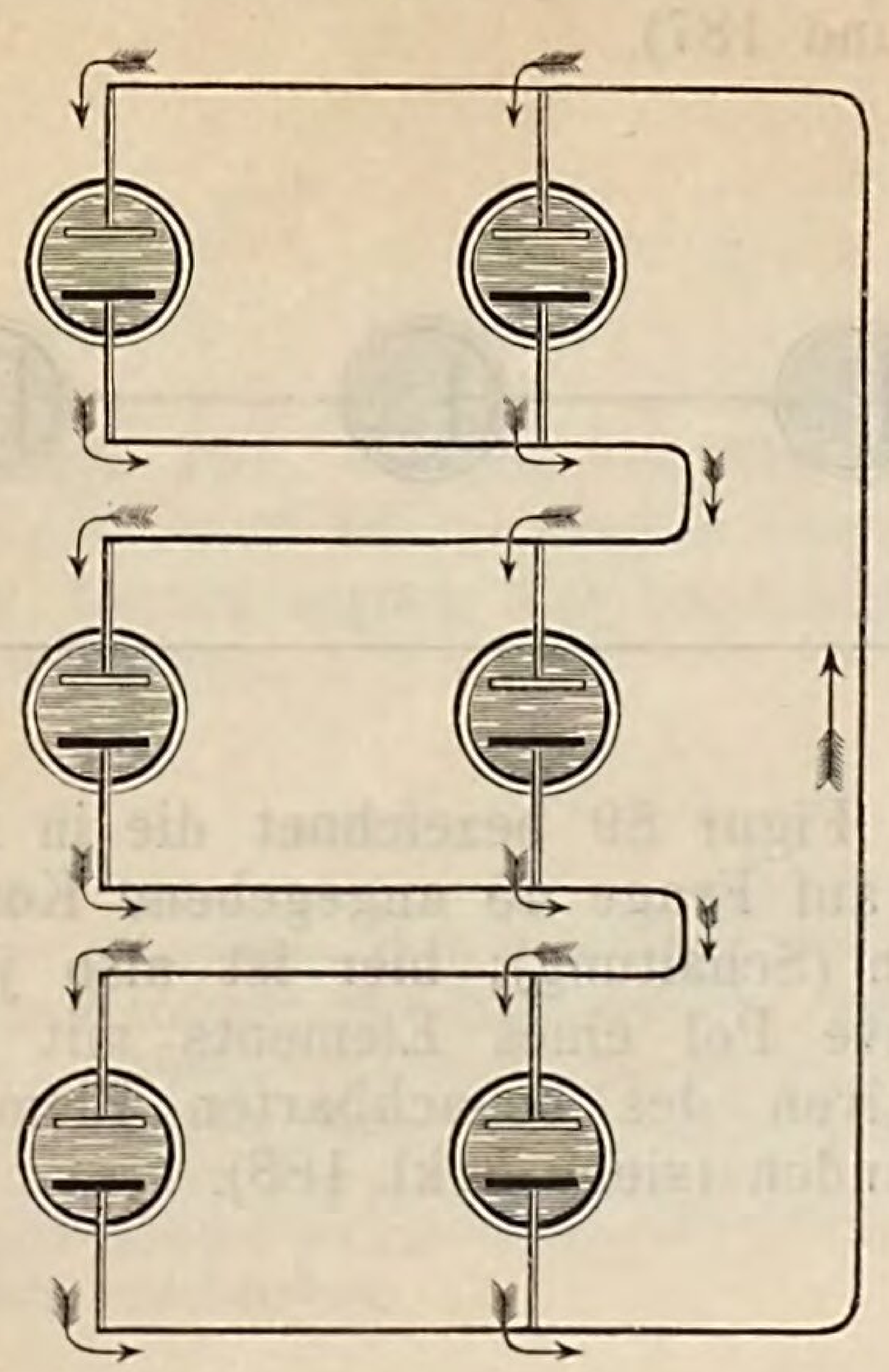
Figur 91.



2). In Figur 90 sind sämtliche positiven Pole der 6 Elemente unter sich und sämtliche negativen Pole unter sich verbunden; der elektrische Strom tritt gleichmässig an allen 6 positiven Polen aus und tritt an allen 6 negativen Polen gleichmässig ein; es ist also gerade so, als ob alle Elektroden in einem gemeinsamen grossen Gefäss vereinigt wären und als ob statt der einzelnen miteinander verbundenen Elektroden eine einzige 6mal so grosse positive und eine einzige 6mal so grosse negative Elektrode in dem gemeinsamen Gefäss enthalten wäre (siehe Erkl. 189).

3). In Figur 91 sind je 3 Elemente parallel geschaltet, d. h. also mit ihren gleichnamigen Polen verbunden; die beiden so erhaltenen Gruppen sind mit ihren ungleichnamigen Polen verbunden; die beiden Gruppen sind hintereinander geschaltet.

Figur 92.



Diese Kombination vertritt demnach zwei hintereinander geschaltete Elemente, deren Elektroden 3mal so gross sind als die der einzelnen Elemente dieser Kombination.

4). In Figur 92 sind je 2 Elemente parallel und die dadurch entstehenden 3 Gruppen hintereinander geschaltet. Diese Kombination kann also durch eine solche aus 3 Elementen ersetzt werden, deren Elektroden doppelt so gross sind als die der einzelnen Elemente dieser Kombination.

Frage 139. Welcher Apparate bedient man sich, um die Schaltung einer Batterie rasch und sicher in verschiedener Weise zu verändern?

Erkl. 190. Die in nebenstehender Antwort bezeichneten Apparate werden mitunter auch Pachytrope genannt (siehe Erkl. 191).

Erkl. 191. Die Bezeichnung Pachytrop (vom griech. παχύς = dick, dicht, und τρόπος = Windung) bedeutet: Stromdichteveränderer.

Antwort. Zu den meisten wissenschaftlichen Zwecken genügt es, zur beliebigen Veränderung der Schaltung einer Batterie (siehe vorige Antwort), Leitungsdrähte anzuwenden. Man bedient sich mitunter auch besonderer Schaltapparate, welche in verschiedener Weise konstruiert werden, mittels deren der genannte Zweck rascher erreicht wird (siehe die Erkl. 190 und 191).

k). Ueber die Stromschlüssel.

Frage 140. Auf welche Weise kann man eine Säule öffnen und schliessen, und welcher Apparate bedient man sich, um diese Manipulation rasch und sicher auszuführen?

Antwort. Das Oeffnen und Schliessen einer Säule kann an jeder Stelle des Stromkreises (siehe Antw. auf Frage 36) bewirkt werden. Zur raschen und sicheren Ausführung dieser Manipulation sind verschiedene Apparate konstruiert worden, welche man als Stromschlüssel bezeichnet. Soll die Oeffnung und Schliessung des Stroms sehr rasch und in häufiger Folge geschehen, so bedient man sich dazu der Stromunterbrecher.

Frage 141. Welches sind die gebräuchlichsten Arten von Apparaten zum Oeffnen und Schliessen des Stromkreises?

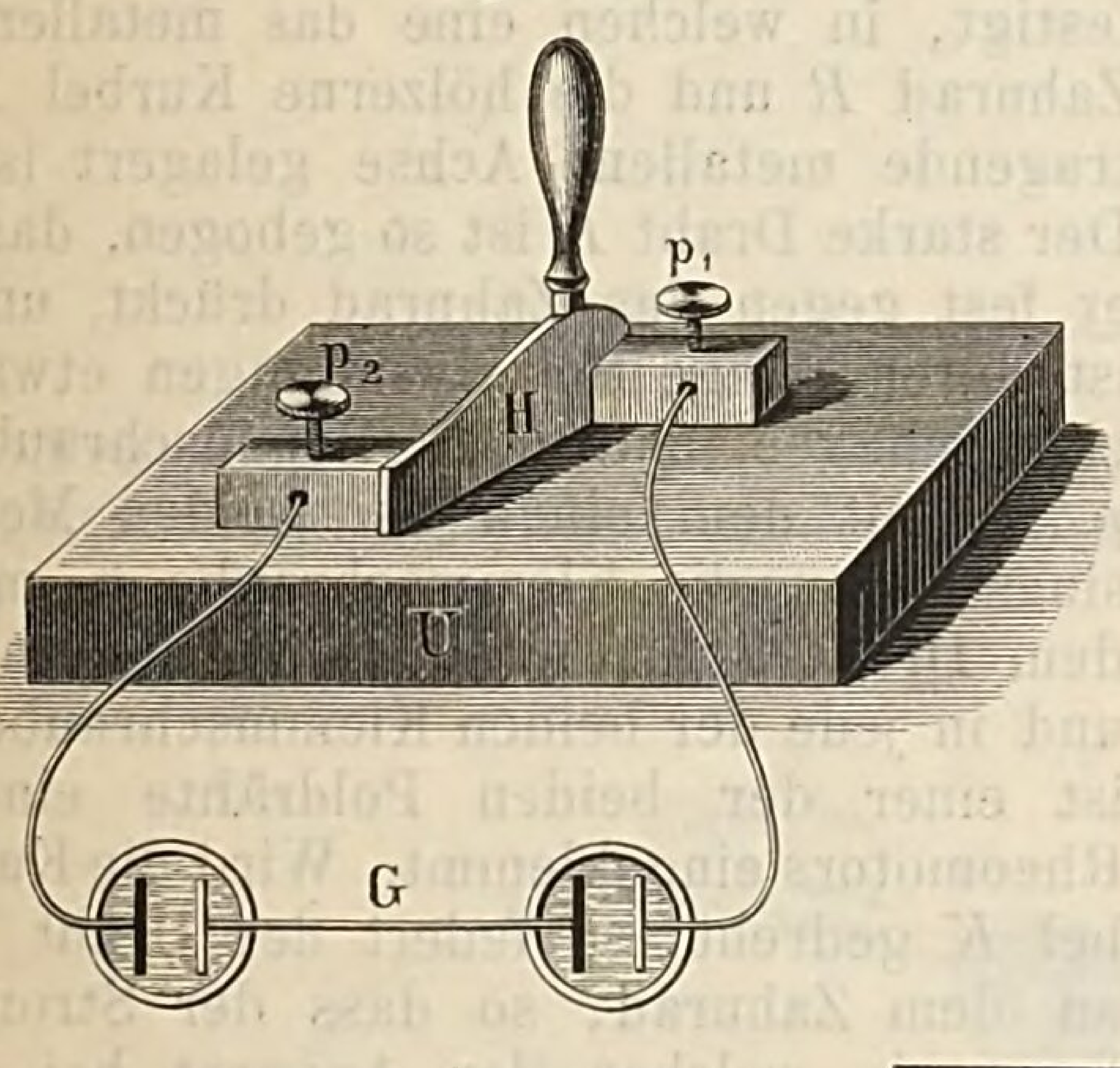
Erkl. 192. Die Beschreibung der selbstthätigen (automatischen) Stromunterbrecher findet man in dem Lehrbuch des Elektromagnetismus dieses Werkes.

Antwort. Die gebräuchlichsten Arten von Apparaten zum Oeffnen und Schliessen des Stromkreises sind:

1). die Stromschlüssel mit Metallkontakt (siehe Antwort auf Frage 142),
2). die Stromschlüssel mit Quecksilberkontakt (siehe Antwort auf Frage 143),
3). die Stromunterbrecher (siehe Antwort auf Frage 144),
4). die selbstthätigen Stromunterbrecher (siehe Erkl. 192).

Frage 142. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Stromschlüssels mit Metallkontakt nach Du Bois-Reymond?

Figur 93.

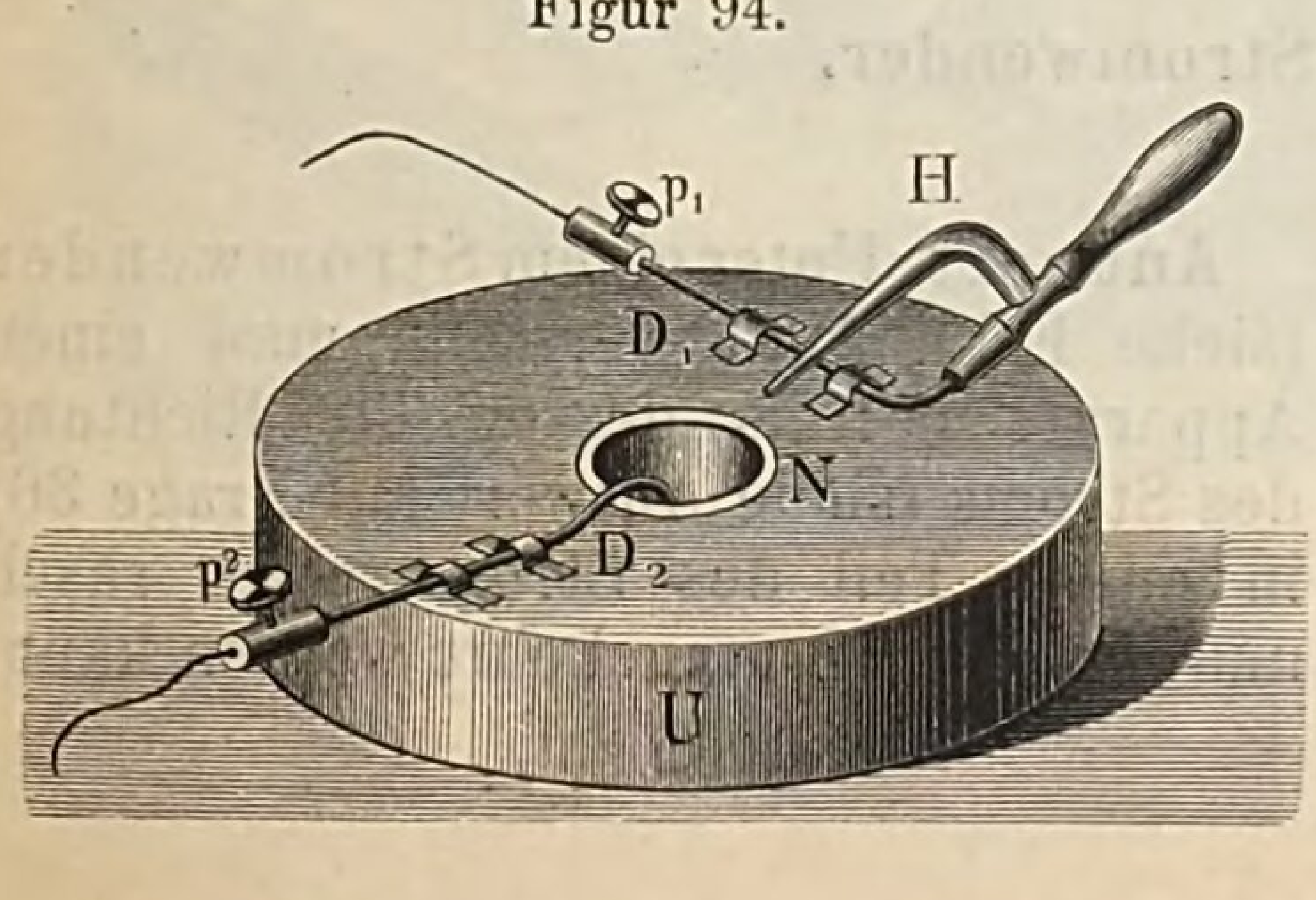


Antwort. Die Einrichtung des Stromschlüssels mit Metallkontakt nach Du Bois-Reymond besteht in folgendem:

Auf einer Unterlage von Holz oder Hartgummi *U*, siehe Figur 93, befindet sich ein mit einem Handgriff versehener drehbarer Hebel *H*, welcher mit der Klemmschraube p_1 in leitender Verbindung steht. In die Klemmschrauben p_1 und p_2 werden die zu verbindenden, von den beiden Polen eines Rheomotors *G* (siehe Erkl. 187) kommenden Drähte eingeschraubt. Wird der Hebel *H* gesenkt, so berührt er die Klemmschraube p_2 und schliesst dadurch den Strom; wird er gehoben, so öffnet er denselben. Der Apparat wird durch einen Schraubenbügel an der Tischplatte befestigt.

Frage 143. Worin besteht die Einrichtung des Stromschlüssels mit Quecksilberkontakt von Du Bois-Reymond?

Figur 94.



Antwort. Die Einrichtung des Stromschlüssels mit Quecksilberkontakt von Du Bois-Reymond besteht in folgendem:

In der Mitte der Hartgummiunterlage *U*, siehe Figur 94, ist ein Quecksilbernäpfchen *N* eingelassen, in welches der mit der Klemmschraube p_2 verbundene, amalgamierte Draht D_2 ein für allemal eintaucht. Der mit einem isolierenden Griff versehene, an seinem freien Ende amalgamierte Hebel *H* dreht sich um einen in zwei Führungen gehenden Draht D_1, welcher mit der Klemmschraube p_1

verbunden ist. Die beiden Klemmschrauben p_1 und p_2 sind, wie bei dem vorbeschriebenen Schlüssel erwähnt, mit dem Rheomotor verbunden. Wird der Hebel in der Weise gedreht, dass er in das Quecksilber des Näpfchens N eintaucht, so wird der Stromkreis geschlossen; wird er in der andern Richtung gedreht, so wird der Stromkreis geöffnet (siehe Erkl. 193).

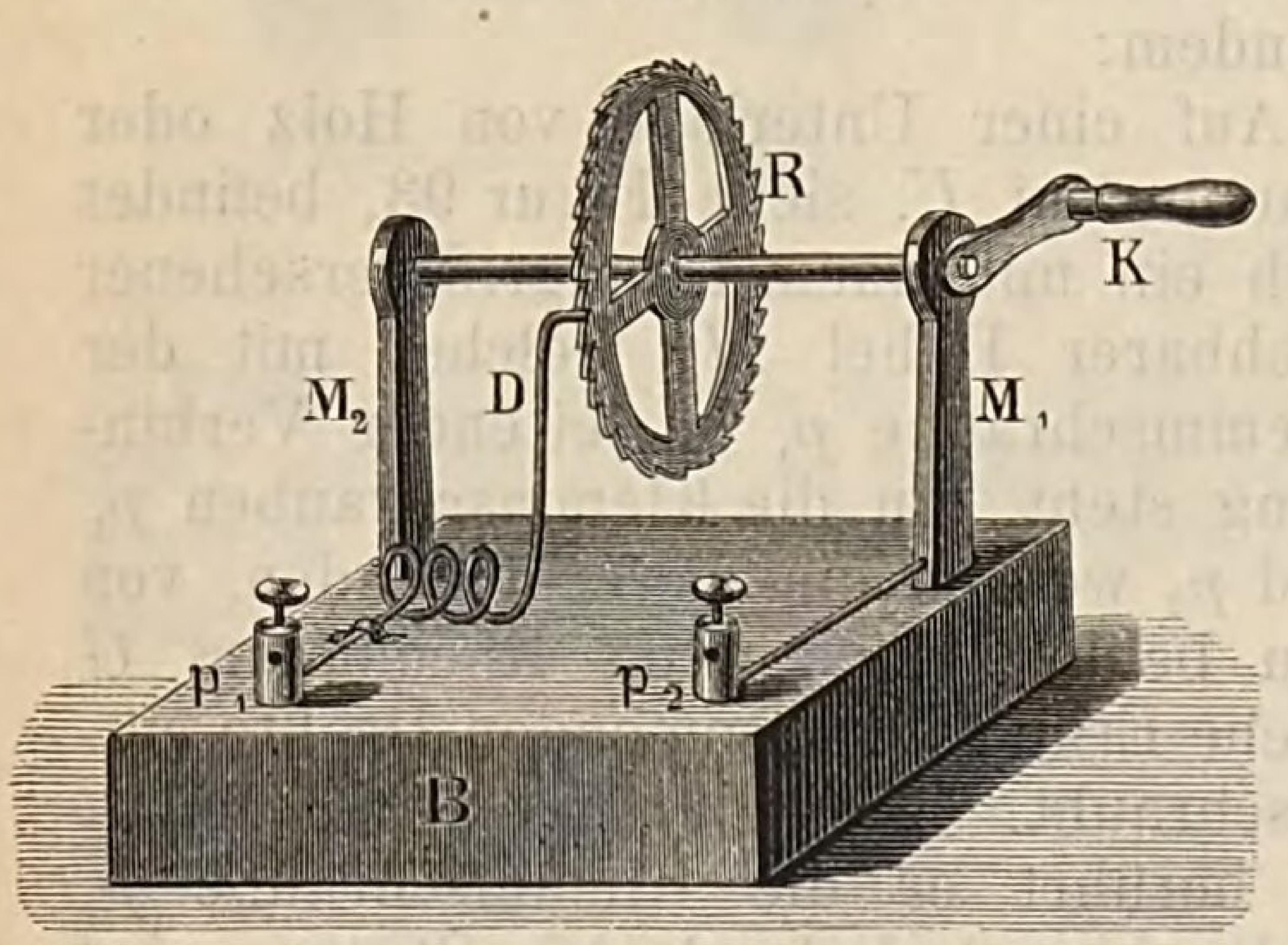
Erkl. 193. Der in nebenstehender Antwort beschriebene Stromschlüssel mit Quecksilberkontakt ist demjenigen mit Metallkontakt vorzuziehen (siehe auch Erkl. 166).

Frage 144. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des gewöhnlichen Stromunterbrechers?

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Stromunterbrechers in einer seiner bekanntesten Formen besteht in folgendem:

Auf einem Brett B, siehe Figur 95, sind zwei Messingständer M_1 M_2 befestigt, in welchen eine das metallene Zahnrad R und die hölzerne Kurbel K tragende metallene Achse gelagert ist. Der starke Draht D ist so gebogen, dass er fest gegen das Zahnrad drückt, und ist durch einige Spiralwindungen etwas elastisch gemacht. Die Klemmschraube p_2 ist mit dem einen der beiden Messingständer, die Klemmschraube p_1 mit dem Draht D in leitender Verbindung, und in jede der beiden Klemmschrauben ist einer der beiden Poldrähte eines Rheomotors eingeklemmt. Wird die Kurbel K gedreht, so federt der Draht D an dem Zahnrad, so dass der Stromkreis, in welchen der Apparat bei p_1 und p_2 eingeschaltet ist, in sehr raschen Intervallen geöffnet und geschlossen wird (siehe Erkl. 194).

Figur 95.



Erkl. 194. Es gibt ausser dem in nebenstehender Antwort beschriebenen und andern zu gleichem Zweck dienenden Apparaten auch solche, welche selbstthätig eine rasche kontinuierliche Oeffnung und Schliessung des Stromkreises bewirken (siehe Erkl. 192).

l). Ueber die Stromwender.

Frage 145. Was versteht man unter einem Stromwender und zu welchem Zweck dient derselbe?

Antwort. Unter einem Stromwender (siehe Erkl. 195) versteht man einen Apparat, mittels dessen die Richtung des Stroms (siehe Antwort auf Frage 36) in einem Teil des Stromkreises rasch und beliebig oft umgekehrt werden kann.

Erkl. 195. Die Stromwender werden auch Kommutatoren (siehe Erkl. 196), Invertoren (siehe Erkl. 197) oder Gyrotrope (siehe Erkl. 198) genannt.

Erkl. 196. Kommutator (latein.) heisst Veränderer.

Erkl. 197. Invertor (vom latein. invertere = umkehren) heisst Umkehrer.

Erkl. 198. Gyrotrop (vom griech. γῦρος = Kreis, Windung, und τρόπος = Umkehr) heisst (Strom-) Kreisumkehrer.

Frage 146. Welches sind die bekanntesten Stromwender?

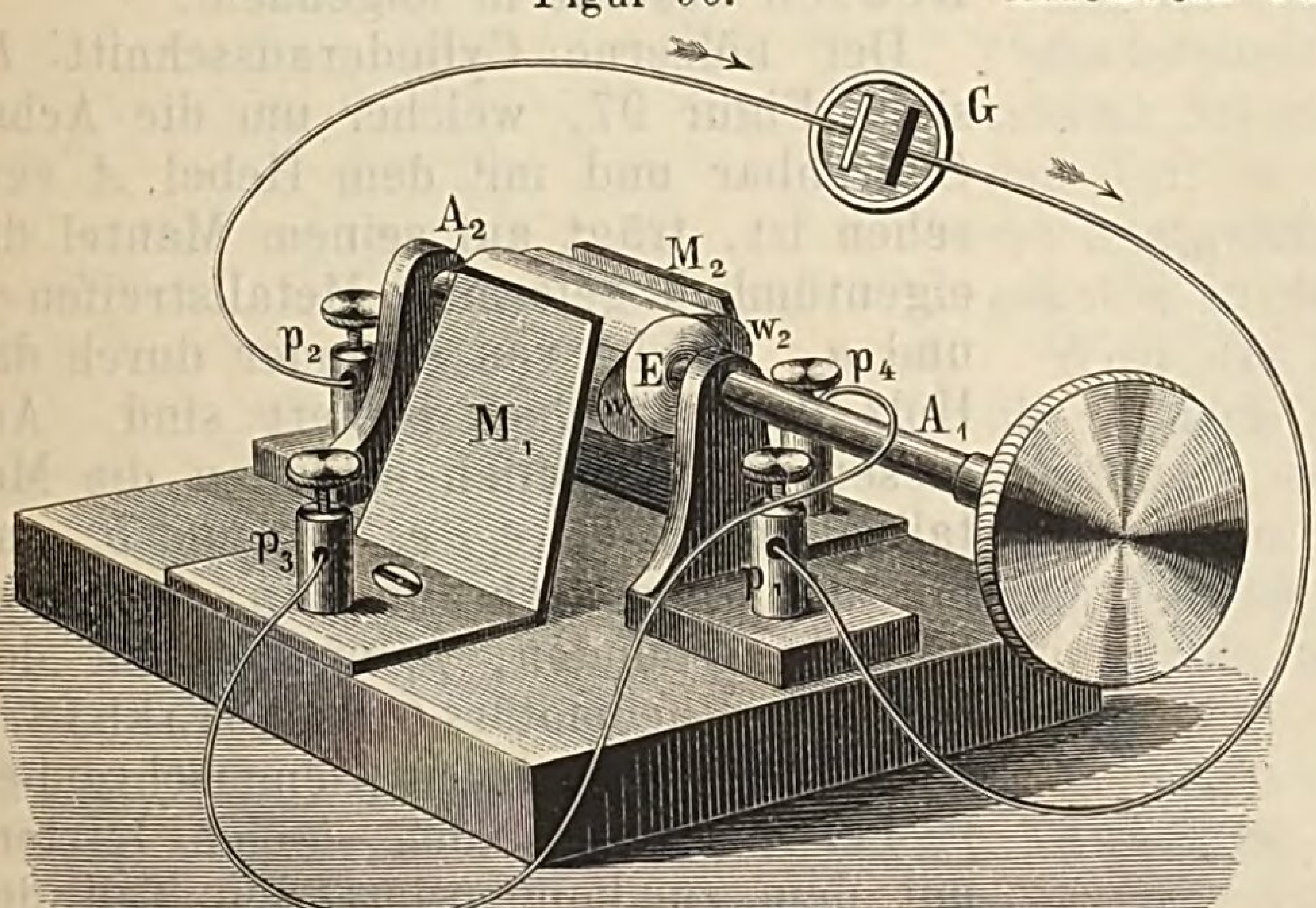
Antwort. Die bekanntesten Stromwender sind die folgenden (siehe Erklärung 199):

1). Der Stromwender von *Ruhmkorff* (siehe Antwort auf Frage 147),
2). der Stromwender von *Reusch* (siehe Antwort auf Frage 148),
3). der Stromwender von *Dujardin* (siehe Antwort auf Frage 149),
4). der Stromwender von *Gruel* (siehe Antwort auf Frage 150),
5). der Stromwender von *Poggendorff* (siehe Antwort auf Frage 151),
6). die Stromwender mit Quecksilberkontakt (siehe Antwort auf Frage 152).

Erkl. 199. Die Stromwender finden sehr häufig Anwendung; es gibt eine sehr grosse Zahl mehr oder weniger einfacher Konstruktionen derselben. In nebenstehender Antwort sind nur einige davon angegeben, welche zu den bekanntesten und am häufigsten verwendeten gehören.

Frage 147. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Stromwenders von Ruhmkorff?

Figur 96.



Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Stromwenders von Ruhmkorff besteht in folgendem:

Ein Cylinder E, siehe Figur 96, aus Elfenbein oder Hartgummi ist auf einer Achse $A_1 A_2$ befestigt und trägt zwei vergoldete Messingwülste w_1 und w_2. Die Achse A besteht aus zwei von einander isolierten Teilen, von denen der eine A_1 mit dem Wulst w_1, der andre A_2 mit dem Wulst w_2 in leitender Verbindung steht. Die Achse ist drehbar in zwei Metallständern gelagert, durch welche A_1 mit der Klemmschraube p_1, A_2 mit der Klemmschraube p_2 in leitender Verbindung steht. p_1 und p_2 sind mit den Polen eines Rheomotors G (siehe Erkl. 187) verbunden. Die Klemmschrauben p_3 und p_4 verbinden denjenigen Teil des Stromkreises, in wel-

chem die Stromrichtung umgekehrt werden soll, dieselben sind mit den gegen den Cylinder federnden vergoldeten Messingblechen M_1 bezw. M_2 in leitender Verbindung.

Bei der in der Figur dargestellten Stellung fliesst der elektrische Strom von dem positiven Pol des Rheomotors G durch p_1 A_1 w_1 M_1 p_3 p_4 M_2 w_2 A_2 p_2 nach dem negativen Pol des Rheomotors. Der Strom hat also in dem zu kommutierenden Teil des Stromkreises die Richtung p_3 p_4.

Wird die Achse A_1 A_2 um eine halbe Umdrehung (um 180°) gedreht, so dass M_1 gegen den Wulst w_2, M_2 gegen w_1 federt, so fliesst der Strom von G nach p_1 A_1 w_1 M_2 p_4 p_3 M_1 w_2 A_2 p_2 nach G. Es hat somit nunmehr der Strom in dem zu kommutierenden Teil des Stromkreises die Richtung p_4 p_3.

Wird die Achse etwa um eine viertel Umdrehung (um 90°) gedreht, so federn M_1 und M_2 nicht gegen die Metallwülste w_1 und w_2, sondern gegen den isolierenden Elfenbeincylinder; der Strom ist also in diesem Fall unterbrochen.

Frage 148. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Stromwenders von Reusch?

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Stromwenders von Reusch besteht in folgendem:

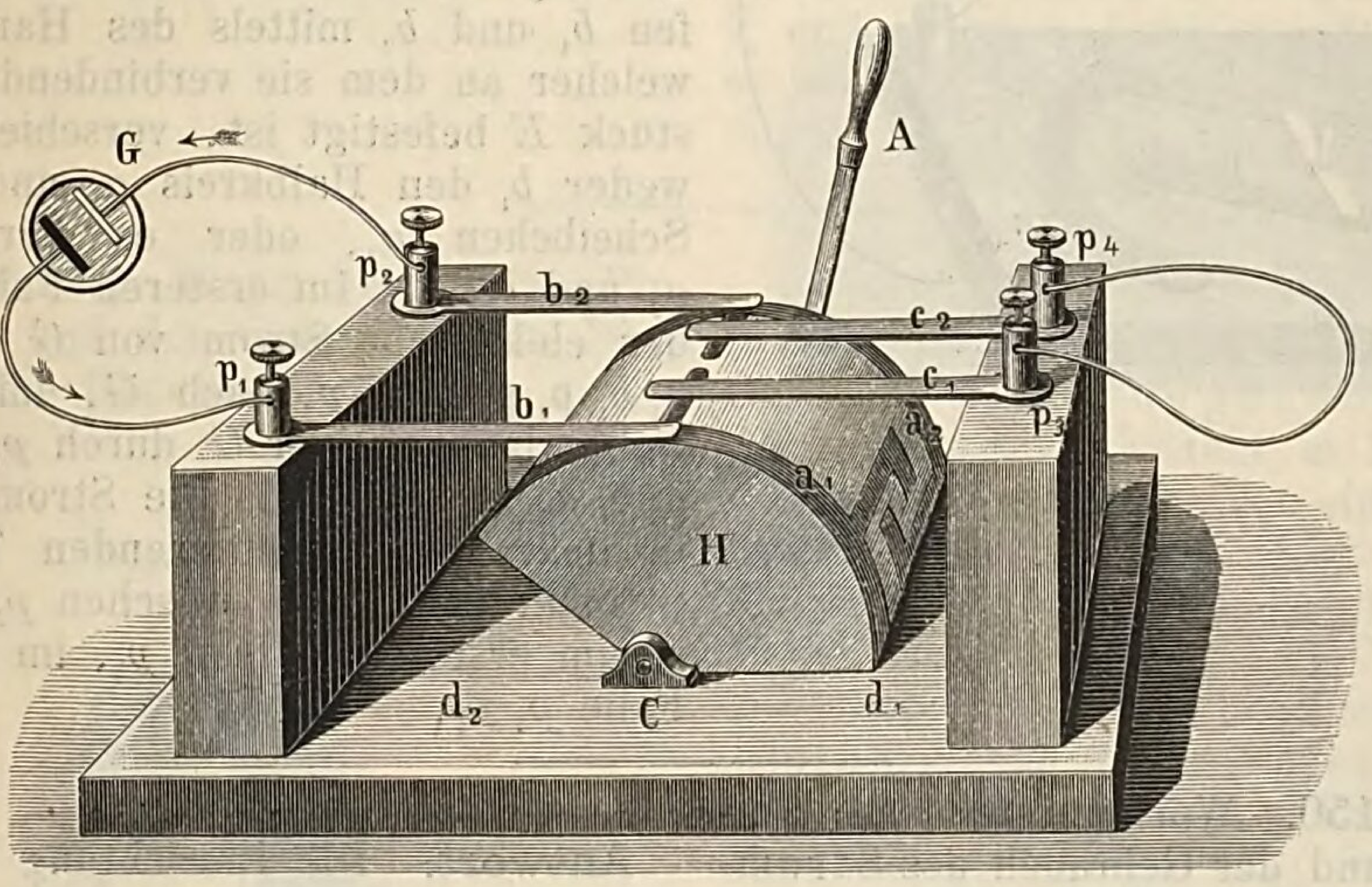
Der hölzerne Cylinderausschnitt H, siehe Figur 97, welcher um die Achse C drehbar und mit dem Hebel A versehen ist, trägt auf seinem Mantel die eigentümlich geformten Metallstreifen a_1 und a_2, welche von einander durch das Holz des Cylinders isoliert sind. Auf diesen Metallstreifen schleifen die Metallfedern b_1, b_2, c_1, c_2. b_1 und b_2 sind mit den Klemmschrauben p_1 bezw. p_2 leitend verbunden, p_1 und p_2 mit den Polen des Rheomotors G (siehe Erkl. 187). c_1 und c_2 sind mit den Klemmschrauben p_3 bezw. p_4 verbunden, welch letztere mit dem zu kommutierenden Teil des Stromkreises in Verbindung stehen.

Bei der in Figur 97 veranschaulichten Stellung des Cylinderausschnitts, bei welcher derselbe also bei d_1 auf der Bodenplatte des Apparats ruht,

fliesst der elektrische Strom von dem Rheomotor G durch p_1 b_1 a_1 c_1 p_3 p_4 c_2 a_2 b_2 p_2 nach G.

Wird der Cylinderausschnitt mittels des Hebels A nach der andern Seite gedreht, so dass er bei d_2 auf der Bodenplatte ruht, somit c_1 auf der seitlichen Ausbiegung von a_2, c_2 auf der seitlichen Ausbiegung von a_1 schleift, so fliesst der

Figur 97.



elektrische Strom von G durch p_1 b_1 a_1 c_2 p_4 p_3 c_1 a_2 b_2 p_2 nach G.

Bei der erstgenannten Stellung des Cylinderausschnitts fliesst also der elektrische Strom in dem zu kommutierenden Teil in der Richtung $p_3 - p_4$, bei der letztgenannten Stellung dagegen umgekehrt in der Richtung $p_4 - p_3$.

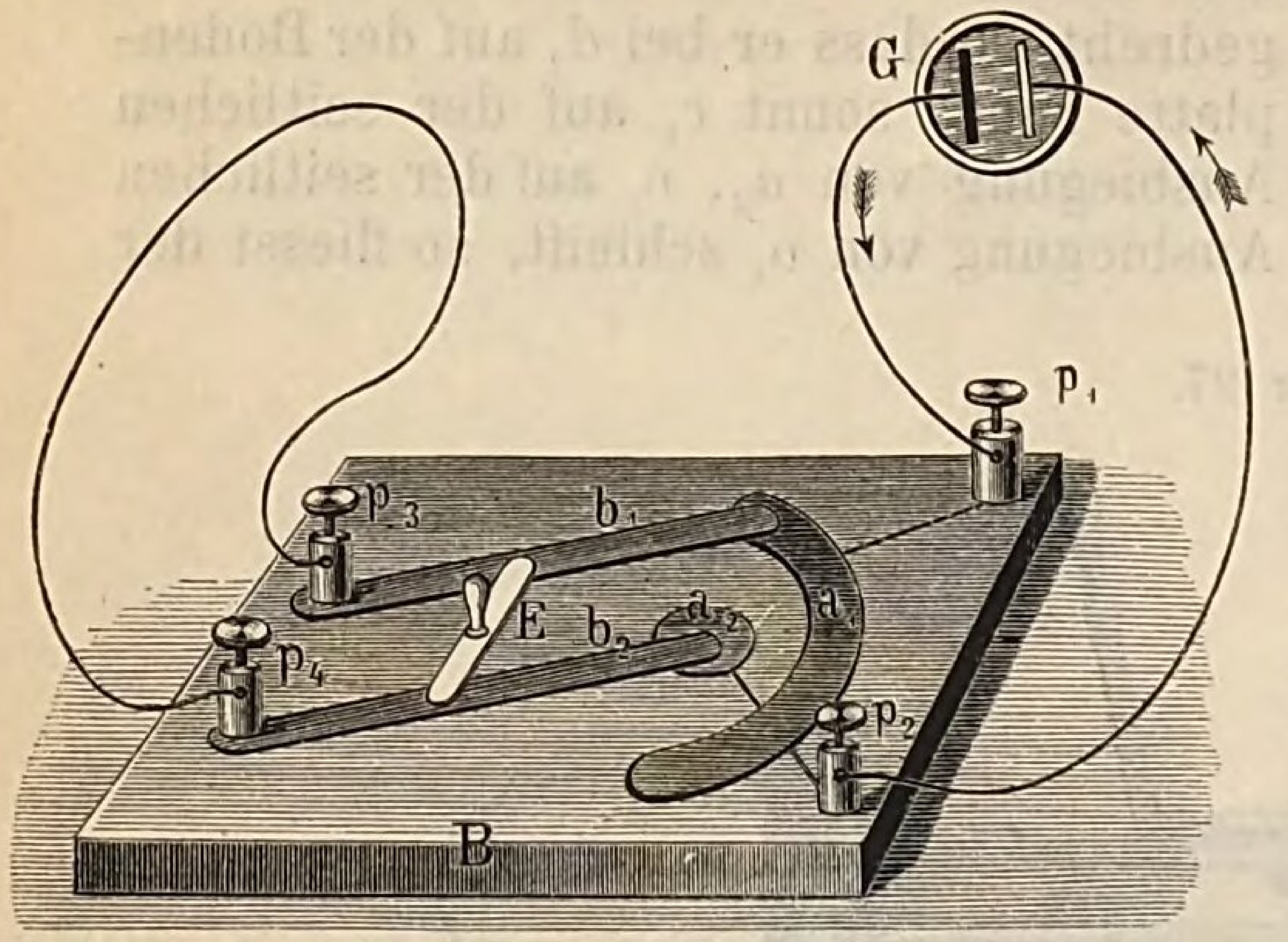
Wird der Hebel A so gestellt, dass die Federn c_1 und c_2 weder auf den Streifen a_1 noch a_2, sondern auf dem isolierenden Holz des Cylindermantels schleifen, so ist der Stromkreis geöffnet (der Strom unterbrochen).

Frage 149. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Stromwenders von Dujardin?

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Stromwenders von Dujardin besteht in folgendem:

Auf einem Brett B, siehe Figur 98, ist ein halbkreisförmig gebogener Streifen a_1 und eine kreisförmige kleine Scheibe a_2, beide von vergoldetem Messing, be-

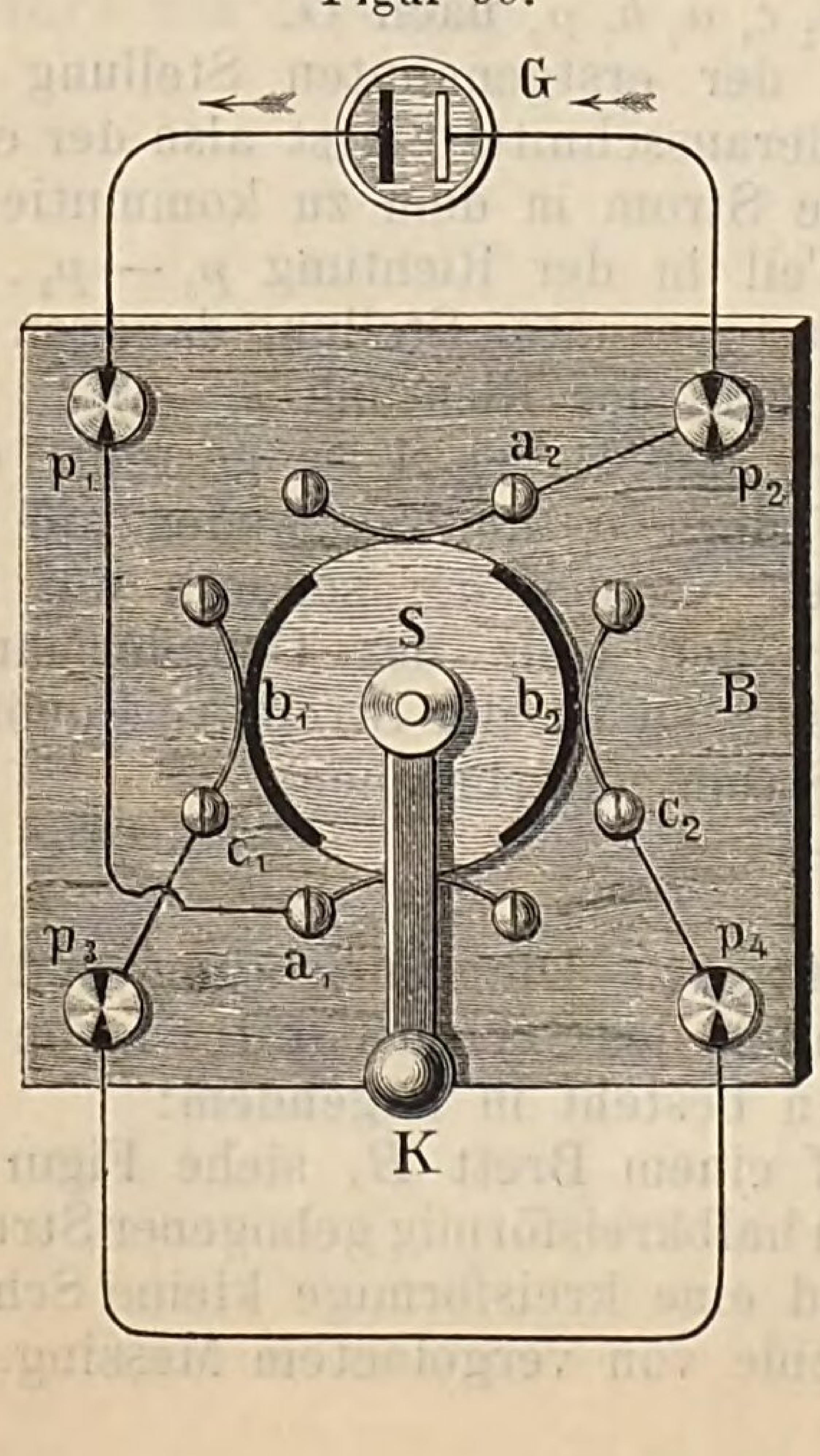
Figur 98.



festigt. a_1 steht mit der Klemmschraube p_1, a_2 mit der Klemmschraube p_2, p_1 und p_2 mit dem Rheomotor G (siehe Erkl. 187) in leitender Verbindung. b_1 und b_2 sind Messingstreifen, welche an den Klemmschrauben p_3 und p_4 drehbar befestigt und durch das elfenbeinerne Querstück E in paralleler Lage gehalten werden. Die vergoldeten freien Enden von b_1 und b_2 schleifen auf a_1 und a_2, und zwar berührt, je nachdem man die beiden Streifen b_1 und b_2 mittels des Handgriffes, welcher an dem sie verbindenden Querstück E befestigt ist, verschiebt, entweder b_1 den Halbkreis a_1 und b_2 das Scheibchen a_2, oder es berührt b_1 a_2 und b_2 a_1. Im ersteren Falle fliesst der elektrische Strom von G durch p_1 a_1 b_1 p_3 p_4 b_2 a_2 p_2 nach G, im zweiten Falle dagegen von G durch p_1 a_1 b_2 p_4 p_3 b_1 a_2 p_2 nach G. Die Stromrichtung in dem zu kommutierenden Teil des Stromkreises, also zwischen p_3 und p_4 ist im ersteren Falle $p_3 p_4$, im letzteren Falle $p_4 p_3$.

Frage 150. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Stromwenders von Gruel?

Figur 99.



Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Stromwenders von Gruel besteht in folgendem:

In der Mitte des Holzbretts B, siehe Figur 99, ist eine durch die Kurbel K drehbare Scheibe S aus Holz angebracht, welche am Rande zwei nach der Biegung des Randes geformte Metallstreifen b_1 und b_2 trägt, deren Länge etwas mehr als $^1/_4$ des Umfangs der Scheibe umfasst. Um die Scheibe herum sind 8 Metallstifte in dem Brett befestigt, deren je zwei benachbarte durch Kupferstreifen verbunden sind, welche federnd gegen die Metallstreifen b_1 b_2 drücken. In den Ecken des Holzbretts sind 4 Klemmschrauben p angebracht, von denen p_1 mit a_1, p_2 mit a_2, p_3 mit c_1 und p_4 mit c_2 leitend verbunden sind. p_1 und p_2 sind mit dem Rheomotor G (siehe Erklärung 187), p_3 und p_4 mit dem zu kommutierenden Teil des Stromkreises verbunden.

Wird der Hebel K so gestellt, dass b_1 gleichzeitig a_1 und c_1, somit b_2 gleich-

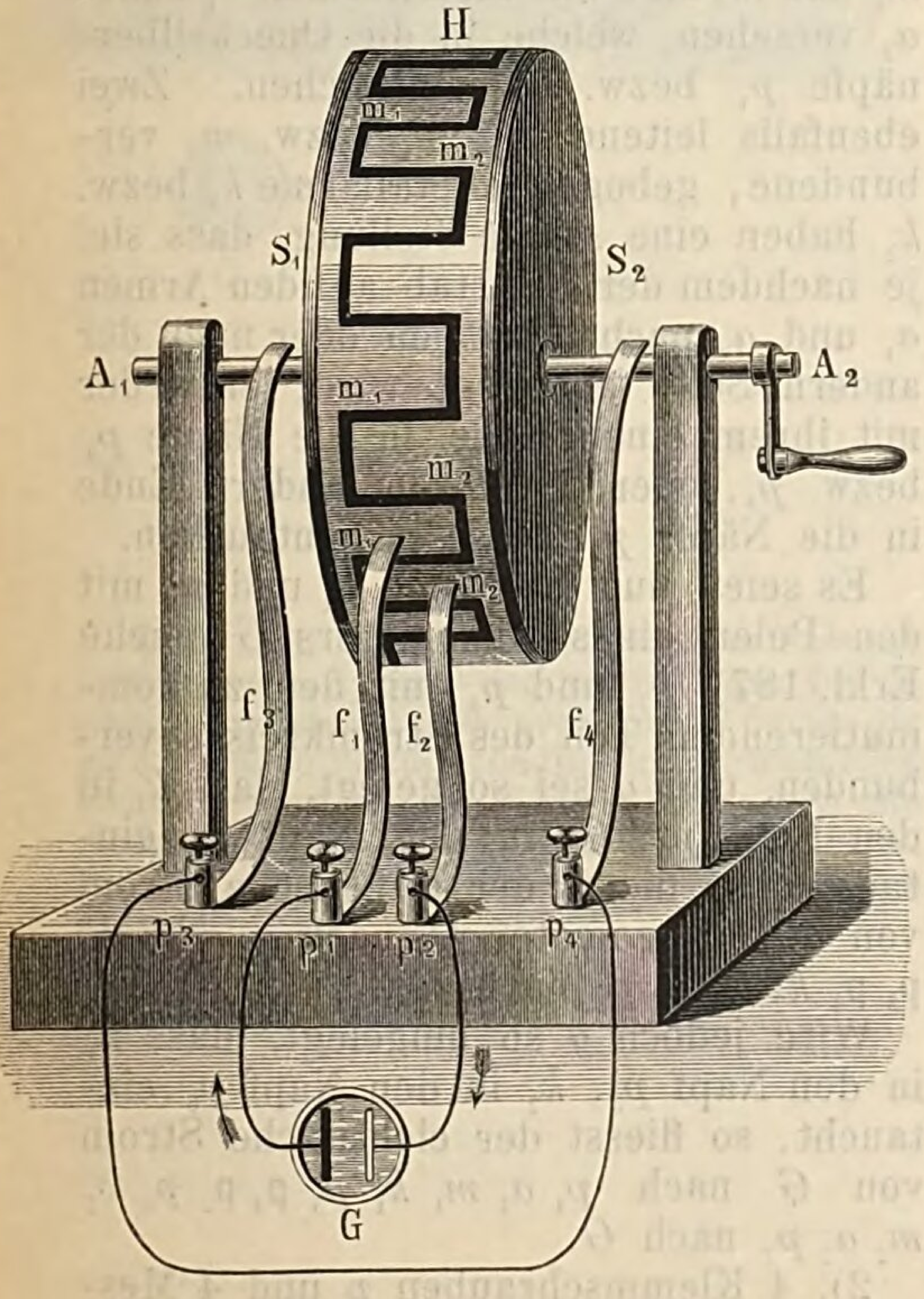
zeitig a_2 und c_2 berührt, so ergibt sich die Stromrichtung $G_1\, p_1\, a_1\, b_1\, c_1\, \mathrm{p}_3\, \mathrm{p}_4\, c_2\, b_2\, a_2\, p_2\, G$.

Wird die Kurbel K so gestellt, dass b_1 gleichzeitig a_2 und c_1, somit b_2 gleichzeitig a_1 und c_2 berührt, so ergibt sich die Stromrichtung $G\, p_1\, a_1\, b_2\, c_2\, \mathrm{p}_4\, \mathrm{p}_3\, c_1\, b_1\, a_2\, p_2\, G_1$, also für den zu kommutierenden Teil des Stromkreises die umgekehrte Richtung.

Wird die Kurbel K so gestellt, dass b_1 und b_2 nur c_1 bezw. c_2 oder a_1 bezw. a_2 berührt, so ist der Stromkreis geöffnet.

Frage 151. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch von Poggendorffs Stromwender?

Figur 100.



Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Poggendorffschen Stromwenders besteht in folgendem:

Auf einer aus zwei von einander isolierten Teilen A_1 und A_2 bestehenden Achse, siehe Figur 100, ist ein Cylinder H von Holz befestigt. Der Cylinder ist auf beiden Seitenflächen mit Metallscheiben S_1 und S_2 beschlagen und trägt auf seinem Mantel zwei zickzackförmige Metallbelege m_1 und m_2, welche sich nicht berühren und somit von einander isoliert sind. m_1 steht mit S_1, S_1 mit A_1, andererseits steht m_2 mit S_2, S_2 mit A_2 in leitender Verbindung. Auf dem Achsenteil A_1 schleift eine Metallfeder f_3, welche an der Klemmschraube p_3 leitend befestigt ist; ebenso schleift eine zweite Metallfeder f_4, welche mit der Klemmschraube p_4 leitend verbunden ist, auf dem Achsenteil A_2. An den Klemmschrauben p_1 und p_2 sind zwei auf dem Mantel des Cylinders schleifende Metallfedern f_1 bezw. f_2 leitend befestigt. Die Längen von f_1 und f_2 sind so bemessen, dass dieselben gleichzeitig je einen der beiden Metallbelege m_1 bezw. m_2 berühren. Es seien nun die Klemmschrauben p_1 und p_2 mit den Polen eines Rheomotors G (siehe Erkl. 187), p_3 und p_4 mit dem zu kommutierenden Teil des Stromkreises verbunden, so wird bei der Drehung abwechselnd f_1 auf m_1 bezw. f_2 auf m_2, dann f_1 auf m_2 bezw. f_2 auf m_1 schleifen. Der elektrische Strom

fliesst im ersten Falle von G nach $p_1\ f_1\ m_1\ S_1\ A_1\ f_3\ p_3\ p_4\ f_4\ A_2\ S_2\ m_2\ f_2\ p_2$ nach G, im zweiten Falle von G nach $p_1\ f_1\ m_2\ S_2\ A_2\ f_4\ p_4\ p_3\ f_3\ A_1\ S_1\ m_1\ f_2\ p_2$ nach G. Durch fortgesetzte Drehung des Cylinders erhält man somit einen fortwährenden raschen Stromwechsel.

Frage 152. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch der Stromwender mit Quecksilberkontakt?

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch einiger der vielen gebräuchlichen Stromwender mit Quecksilberkontakt besteht in folgendem (siehe Erkl. 200):

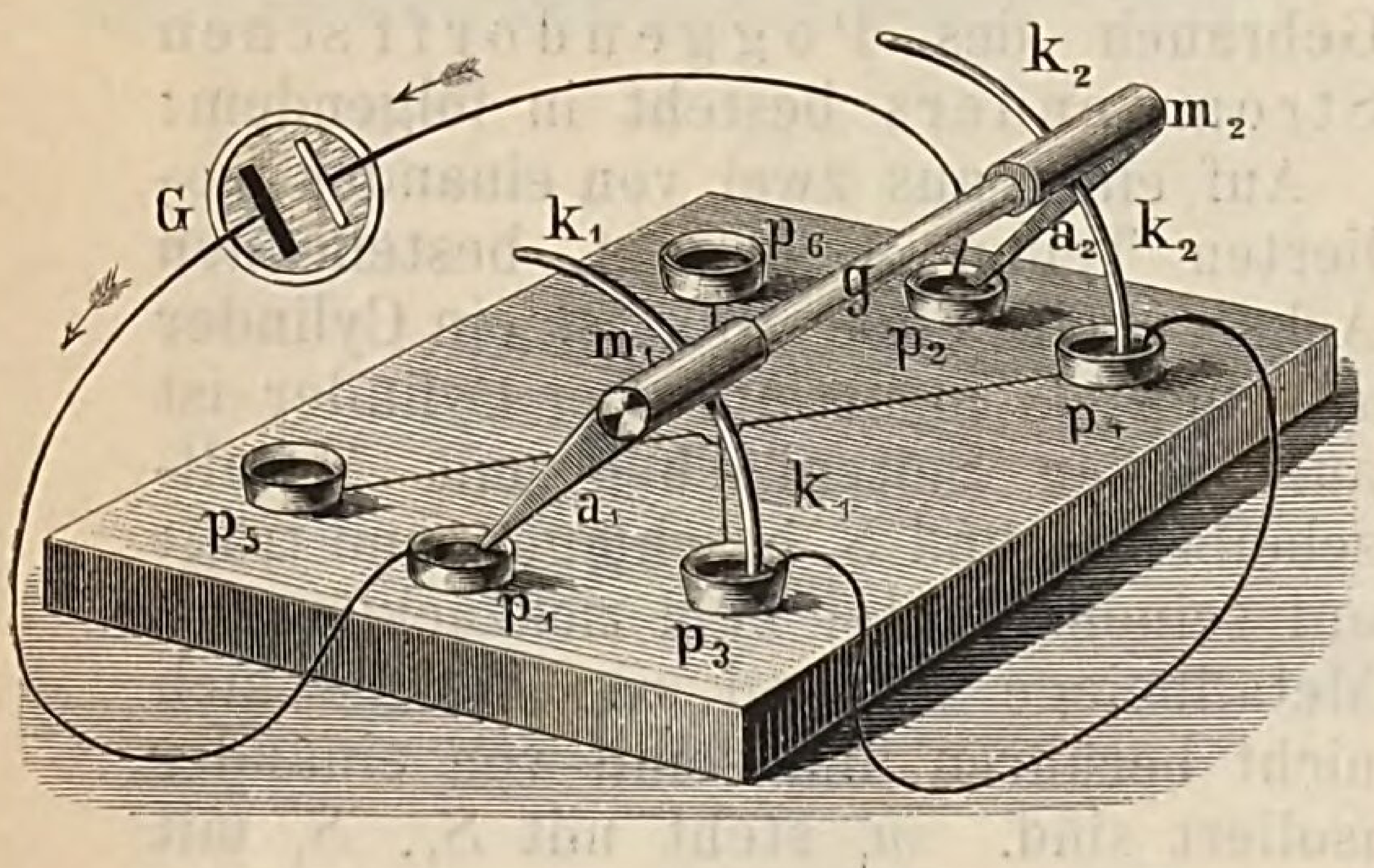
1). In einem Holzbrett sind 6 Quecksilbernäpfe p, siehe Figur 101, eingelassen. p_3 ist mit p_6, p_4 mit p_5 durch Leitungsdrähte verbunden, welche von einander isoliert sind. g ist ein Glasstab, an dessen beiden Enden je ein Metallstück m_1 und m_2 angebracht ist. m_1 und m_2 sind mit Metallarmen a_1 bezw. a_2 versehen, welche in die Quecksilbernäpfe p_1 bezw. p_2 eintauchen. Zwei ebenfalls leitend mit m_1 bezw. m_2 verbundene, gebogene Metallarme k_1 bezw. k_2 haben eine solche Stellung, dass sie, je nachdem der Glasstab auf den Armen a_1 und a_2 nach der einen oder nach der andern Seite umgelegt wird, entweder mit ihrem einen Ende in die Näpfe p_3 bezw. p_4, oder mit ihrem andern Ende in die Näpfe p_5 bezw. p_6 eintauchen.

Es seien nun die Näpfe p_1 und p_2 mit den Polen eines Rheomotors G (siehe Erkl. 187), p_3 und p_4 mit dem zu kommutierenden Teil des Stromkreises verbunden, und g sei so gelegt, dass k_1 in den Napf p_3, k_2 in den Napf p_4 eintaucht, so fliesst der elektrische Strom von dem Rheomotor G nach $p_1\ a_1\ m_1\ k_1\ p_3\ p_4\ k_2\ m_2\ a_2\ p_2$ nach G.

Wird jedoch g so umgelegt, dass k_1 in den Napf p_5, k_2 in den Napf p_6 eintaucht, so fliesst der elektrische Strom von G nach $p_1\ a_1\ m_1\ k_1\ p_5\ p_4\ p_3\ p_6\ k_2\ m_2\ a_2\ p_2$ nach G.

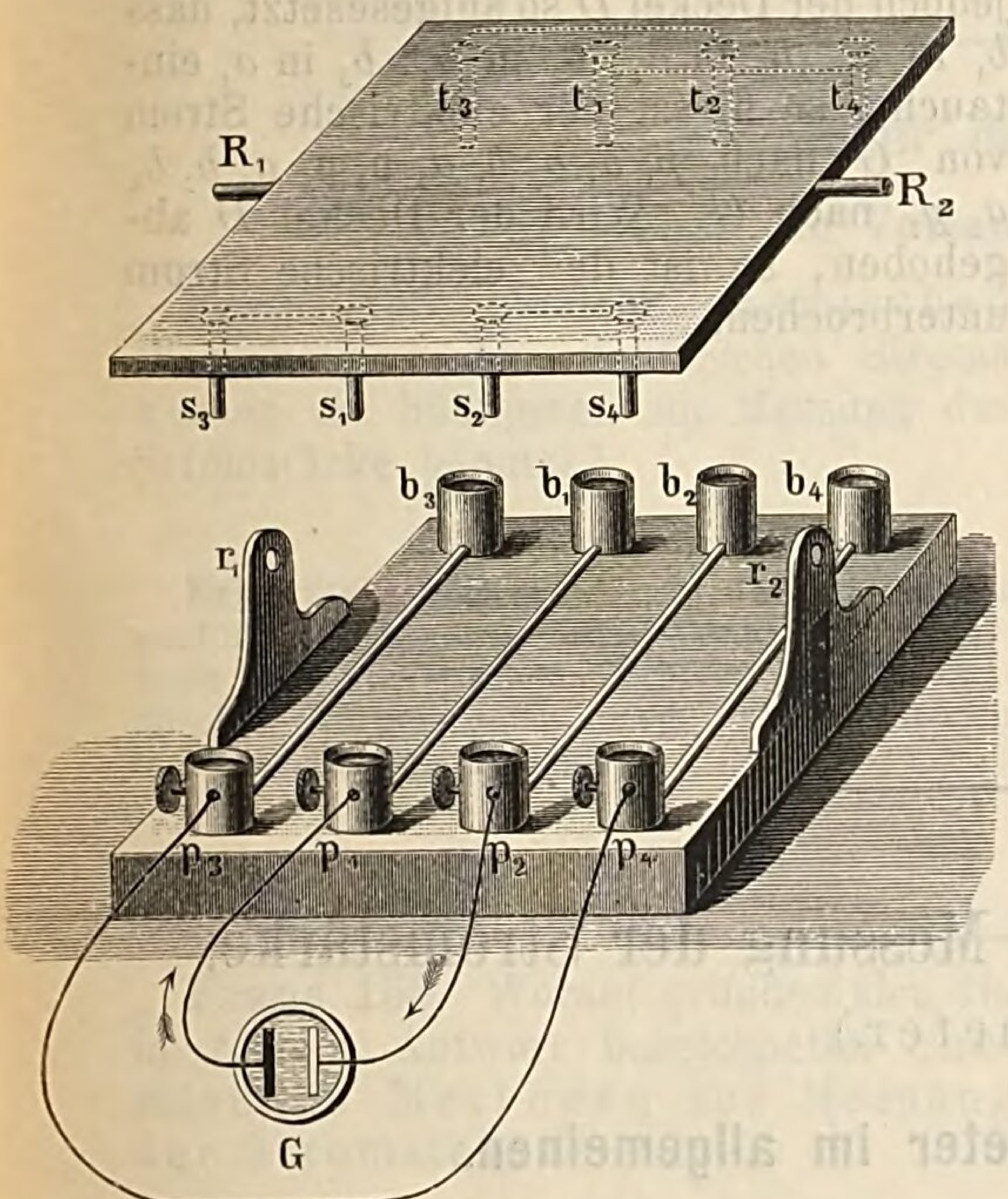
2). 4 Klemmschrauben p und 4 Messingcylinder b, siehe Figur 102, sind auf einer Holz- oder Hartgummiunterlage eingeschraubt und sind oben zu Queck-

Figur 101.



Erkl. 200. Die in nebenstehender Antwort beschriebenen Stromwender mit Quecksilberkontakt sind namentlich für wissenschaftliche Untersuchungen den in den Antworten auf die Fragen 143—147 beschriebenen Stromwendern mit Metall(Schleif)kontakten vorzuziehen (siehe Erkl. 166).

Figur 102.



Erkl. 201. Der in nebenstehender Antwort beschriebene Apparat ist in der Figur 102 in zwei getrennten Teilen gezeichnet, damit die an der oberen Platte befindlichen Einrichtungen sichtbar werden. In Wirklichkeit sitzen die Achsen R_1 bezw. R_2 in den Lagern r_1 bezw. r_2, wie dies in nebenstehender Antwort beschrieben ist.

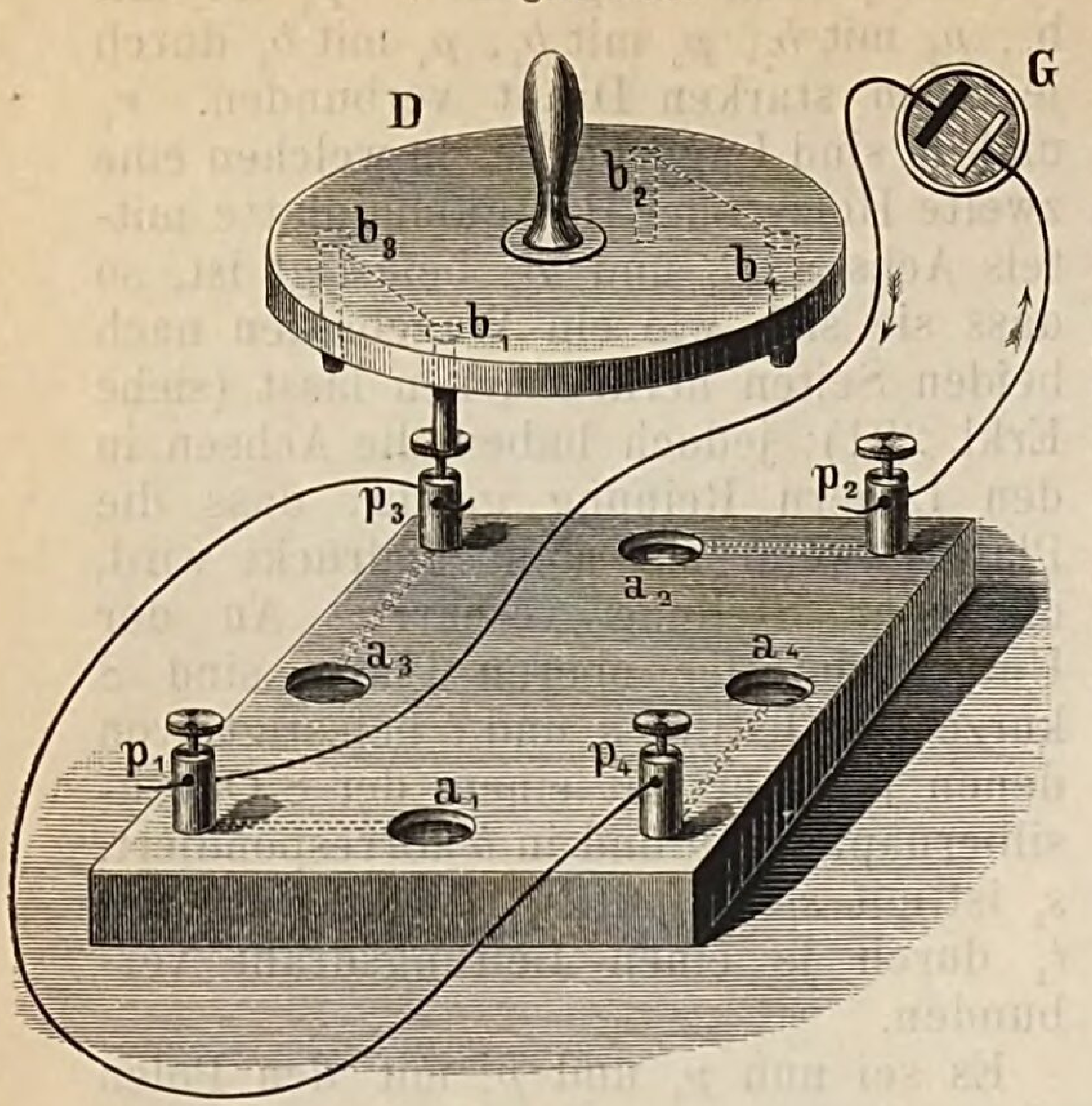
silbernäpfchen ausgebohrt. p_1 ist mit b_1, p_2 mit b_2, p_3 mit b_3, p_4 mit b_4 durch je einen starken Draht verbunden. r_1 und r_2 sind Lagerböcke, in welchen eine zweite Holz- oder Hartgummiplatte mittels Achsen R_1 und R_2 befestigt ist, so dass sie sich wie ein Wagebalken nach beiden Seiten herabdrücken lässt (siehe Erkl. 201); jedoch haben die Achsen in den Lagern Reibung genug, dass die Platte, wenn sie nicht gedrückt wird, in jeder Stellung verharrt. An der Unterfläche der oberen Platte sind 8 kurze Metallstifte s und t befestigt, von denen je einer mit einem der 8 Quecksilbernäpfe in p und in b korrespondiert, s_3 ist mit s_1, s_2 mit s_4, t_2 mit t_3, t_1 mit t_4 durch je einen Leitungsdraht verbunden.

Es sei nun p_1 und p_2 mit den Polen eines Rheomotors G (siehe Erkl. 187), p_3 und p_4 mit dem zu kommutierenden Teil des elektrischen Stroms verbunden, und die obere Platte sei nach der einen Seite herabgedrückt, so dass s_1 in das Näpfchen in p_1, s_2 in p_2, s_3 in p_3, s_4 in p_4 eintaucht, so fliesst der elektrische Strom von G nach $p_1\, s_1\, s_3\, \mathrm{p}_3\, \mathrm{p}_4\, s_4\, s_2\, p_2$ nach G. Wird die obere Platte nach der andern Seite umgelegt, so dass t_1 in b_1, t_2 in b_2, t_3 in b_3, t_4 in b_4 eintaucht, so fliesst der elektrische Strom von G nach $p_1\, b_1\, t_1\, t_4\, b_4\, \mathrm{p}_4\, \mathrm{p}_3\, b_3\, t_3\, t_2\, b_2\, p_2$ nach G. Wird die obere Platte wagrecht gestellt, so ist der Strom unterbrochen.

3). Auf einer quadratischen Platte von Holz oder Hartgummi sind 4 Quecksilbernäpfe a, siehe Figur 103, eingelassen, welche mit je einer Klemmschraube p durch einen in die Platte eingelassenen Draht verbunden sind. An der Unterfläche des mit Handgriff versehenen Deckels D aus Holz oder Hartgummi befinden sich 4 kurze Metallstifte b, welche mit den Quecksilbernäpfen korrespondieren und von welchen b_1 mit b_3, b_2 mit b_4 durch einen Draht verbunden sind.

Es sei nun der Rheomotor G (siehe Erkl. 187) mit den Klemmschrauben p_1 und p_2, der zu kommutierende Teil des

Figur 103.



Stromkreises mit p_3 und p_4 verbunden, und der Deckel D sei so aufgesetzt, dass b_1 in den Napf a_1, b_2 in a_2, b_3 in a_3 und b_4 in a_4 eintaucht, so fliesst der elektrische Strom von G nach p_1 a_1 b_1 b_3 a_3 p_3 p_4 a_4 b_4 b_2 a_2 p_2 nach G. Wird jedoch der Deckel D so aufgesesetzt, dass b_1 in a_4, b_4 in a_2, b_2 in a_3, b_3 in a_1 eintaucht, so fliesst der elektrische Strom von G nach p_1 a_1 b_3 b_1 a_4 p_4 p_3 a_3 b_2 b_4 a_2 p_2 nach G. Wird der Deckel D abgehoben, so ist der elektrische Strom unterbrochen.

5). Ueber die Apparate zur Messung der Stromstärke.

(Rheometer.)

A). Ueber die Rheometer im allgemeinen.

Frage 153. In welcher Weise kann die Stromstärke gemessen werden, und wie nennt man die Instrumente zur Messung der Stromstärke?

Erkl. 202. Rheometer (vom griech. ῥεῖν = fliessen und μέτρον = das Mass) heisst Strommesser.

Erkl. 203. Ausführliches über die Wirkungen des elektrischen Stroms findet man in einem späteren Abschnitt.

Antwort. Die Stärke oder Intensität eines elektrischen Stroms kann durch die Wirkungen desselben gemessen werden. Die Instrumente, welche zur Messung der Stromstärke dienen, nennt man Strommesser oder Rheometer (siehe die Erkl. 202 und 203).

Frage 154. Welche Wirkungen des elektrischen Stroms werden zur Messung seiner Intensität benutzt, und wie nennt man die dazu verwendeten Strommesser?

Erkl. 204. Die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stroms werden zusammengefasst in der Lehre vom Elektromagnetismus. Dieselben sind in diesem Lehrbuch nur erwähnt, soweit sie zur Darlegung der Lehre von der Kontaktelektricität notwendig sind. Aus-

Antwort. Zur Messung der Intensität eines elektrischen Stroms benutzt man

1). seine chemischen Wirkungen; die hierzu verwendeten Strommesser heissen Voltameter;

2). seine magnetischen Wirkungen (siehe Erkl. 204); die hierzu verwendeten Strommesser heissen Galvanometer;

führliches darüber findet man daher in dem Lehrbuch des Elektromagnetismus.

3). seine dynamischen Wirkungen; die hierzu verwendeten Strommesser heissen Elektrodynamometer (s. Erkl. 205).

Erkl. 205. Die in nebenstehender Antwort erwähnten dynamischen Wirkungen des elektrischen Stroms, ihre Anwendung zur Messung desselben und die Elektrodynamometer sind in dem betreff. Lehrb. dieses Werkes beschrieben.

B). Ueber die Voltameter.

a). Ueber die Voltameter im allgemeinen.

Frage 155. Welche chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms werden am häufigsten zur Messung der Stromstärke benutzt?

Antwort. Die am häufigsten zur Messung der Stromstärke benutzten chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms sind (siehe Erkl. 206):

1). Die Zersetzung des Wassers in seine Bestandteile: Sauerstoff und Wasserstoff;

2). die Abscheidung von Silber aus Silberverbindungen;

3). die Abscheidung von Kupfer aus Kupferverbindungen.

Erkl. 206. Wie in einem späteren Abschnitt ausführlich dargethan ist, besteht die Einwirkung des elektrischen Stroms auf die chemischen Körper darin, dass er dieselben in ihre Bestandteile zerlegt.

Frage 156. Worauf gründen sich die in voriger Antwort bezeichneten chemischen Methoden zur Messung der Stromstärke?

Antwort. Nach Antwort auf Frage 37 versteht man unter der Intensität des elektrischen Stroms die Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Stromkreises fliesst. Je grösser diese Elektricitätsmenge ist, eine um so grössere Menge eines chemischen Körpers vermag der elektrische Strom in der Zeiteinheit in seine Bestandteile zu zerlegen, und zwar ist die Menge des zerlegten Körpers der Stromstärke proportional (siehe Erkl. 207).

Wird also z. B. durch den Strom einer beliebigen Säule in einer bestimmten Zeit ein Quantum von beispielsweise 15 Gramm Wasser zersetzt, durch den Strom einer zweiten Säule jedoch in der gleichen Zeit 30 Gramm Wasser, so ist der Strom der zweiten Säule doppelt so stark als derjenige der ersten.

Die Menge des in einer bestimmten Zeit zersetzten Wassers oder des abgeschiedenen Silbers oder Kupfers (siehe Antwort auf Frage 155) ist somit ein Mass für die Stromstärke.

Erkl. 207. Ein elektrischer Strom von einer bestimmten Intensität zerlegt in einer bestimmten Zeit eine bestimmte Menge eines chemischen Körpers in seine elektrischen Zersetzungsprodukte; diese Menge ist bei verschiedenen chemischen Körpern verschieden gross. Ausführliches darüber findet man in einem späteren Abschnitt.

b). Ueber die Wasservoltameter.

Frage 157. Was versteht man unter einem Wasservoltameter?

Antwort. Unter einem Wasservoltameter versteht man ein Rheometer (siehe Antwort auf Frage 153), in welchem durch den zu messenden elektrischen Strom die Zersetzung von Wasser bewirkt wird (siehe die Erkl. 208 bis 211).

Erkl. 208. Das Wasser besteht aus Wasserstoff und Sauerstoff. Wird Wasser durch den elektrischen Strom in diese seine beiden Bestandteile zersetzt (siehe nebenstehende Antwort und Antwort auf Frage 155), so bildet sich ein Gemisch dieser beiden Gase, welches Knallgas genannt wird (siehe die Erkl. 209 und 210).

Erkl. 209. Voltameter, bei welchen das Gemisch beider Gase zur Verwendung kommt (siehe folgende Antwort), werden Knallgasvoltameter genannt (siehe die Antworten auf die Fragen 160 und 161).

Erkl. 210. Das in voriger Erklärung bezeichnete Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff verbindet sich bei der Entzündung wieder zu Wasser und zwar unter heftiger (bei grösseren Mengen gefährlicher) Explosion. Es wird deshalb Knallgas genannt.

Erkl. 211. Die Bezeichnung Voltameter wurde den Apparaten zur Messung der Stromstärke durch Wasserzersetzung von *Faraday* (siehe Erkl. 113) gegeben.

Frage 158. Welches sind die bekanntesten Wasservoltameter?

Antwort. Zu den bekanntesten Wasservoltametern gehören die folgenden (siehe Erkl. 212):

1). Der gewöhnliche Wasserzersetzungsapparat (siehe Antwort auf Frage 159),
2). das Knallgasvoltameter von *Kohlrausch* (siehe Antwort auf Frage 160),
3). das Knallgasvoltameter von *Mohr* (siehe Antw. auf Frage 161),
4). das Wasservoltameter von *de la Rive* (siehe Antw. auf Frage 162),
5). das Gewichtsvoltameter von *Ledingham* (siehe Antwort auf Frage 163).

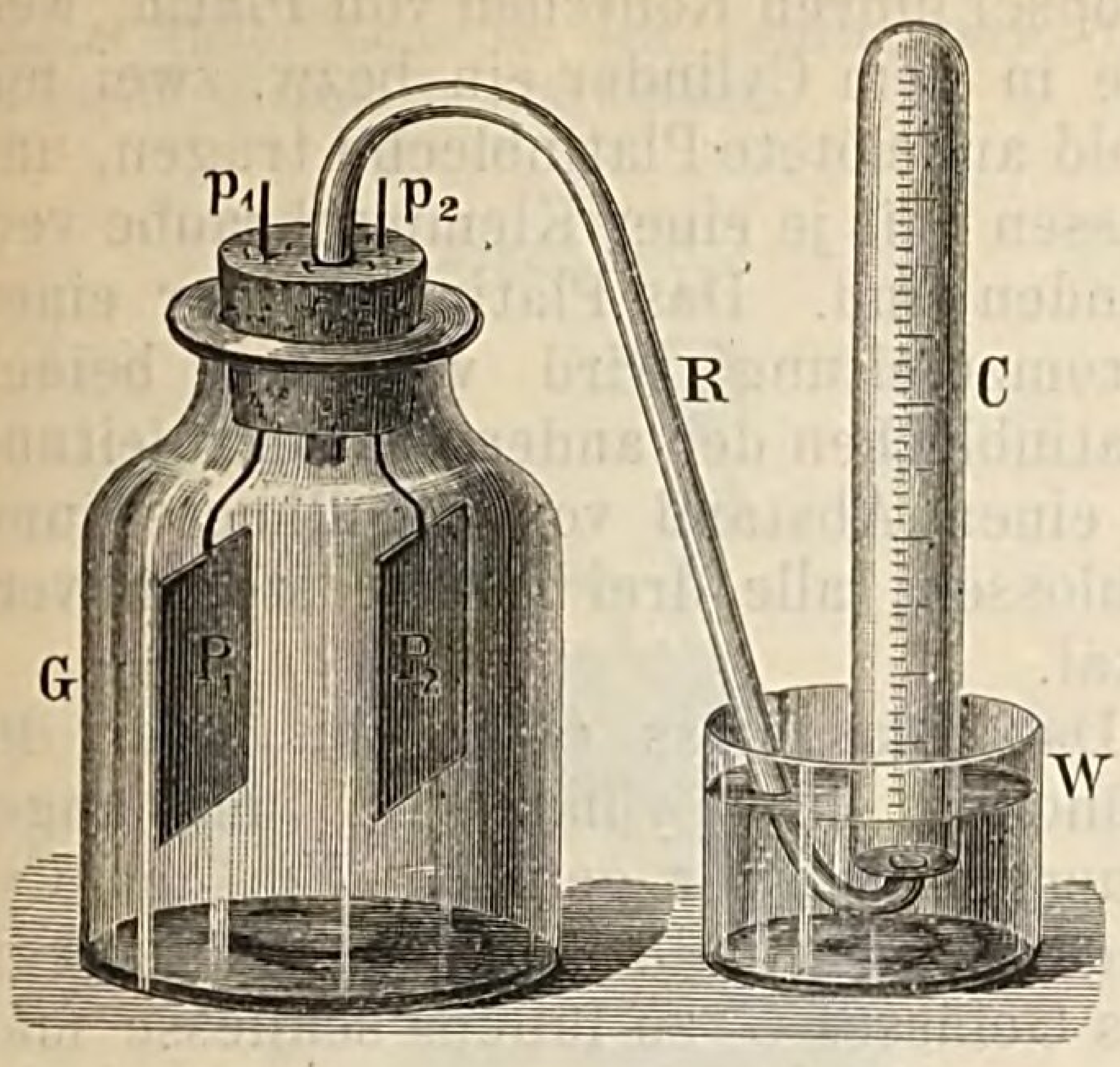
Erkl. 212. Es gibt eine grosse Anzahl von Wasservoltametern, welche jedoch mehr oder weniger nur in konstruktiver Beziehung verschieden sind. In nebenstehender Antwort sind von den bekanntesten diejenigen angegeben, welche die hauptsächlich angewandten Prinzipien veranschaulichen.

Frage 159. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des gewöhnlichen Wasserzersetzungsapparats als Voltameter?

Antwort. Die Einrichtung des gewöhnlichen Wasserzersetzungsapparats und sein Gebrauch als Voltameter besteht in folgendem:

Das Glasgefäss *G*, siehe Figur 104, ist mit angesäuertem Wasser (1 Teil Schwefelsäure auf 10 Teile Wasser, siehe

Figur 104.



Erkl. 213. Absolut reines Wasser kann nach *Kohlrausch* als ein Nichtleiter für galvanische (d. i. Kontakt-) Elektricität (siehe Erkl. 2) betrachtet werden. Auch gewöhnliches Wasser leitet sehr schlecht; man setzt demselben deshalb Schwefelsäure zu (siehe nebenstehende Antwort), um seinen Leitungswiderstand (siehe Erkl. 91) zu verringern.

Erkl. 214. Ueber die Berechnung des zersetzten Wassers aus dem Volum des daraus erhaltenen Knallgases siehe den mathematischen Teil dieses Lehrbuches. Es sei hier nur erwähnt, dass das Gewicht eines bestimmten Gasvolums je nach dem Druck und der Temperatur, unter welchen es steht, ein verschiedenes ist (siehe Erkl. 215).

Erkl. 213) gefüllt und durch einen Kork- oder Glasstöpsel luftdicht verschlossen. Durch den Kork geht die ∾förmig gebogene Glasröhre *R* und zwei starke Platindrähte p_1 und p_2, an welchen zwei in dem Glasgefäss sich gegenüberstehende Platinplatten P_1 und P_2 befestigt sind. Das Glasrohr *S* mündet mit seinem tiefer stehenden, aufwärts gebogenen Ende in einem mit Wasser gefüllten Gefäss *W*, und über seiner Mündung, jedoch unterhalb des Wasserspiegels mündet, gehalten von einem Retortenhalter, welcher in der Figur 104 nicht angegeben ist, ein oben geschlossener, unten offener Glascylinder, welcher nach einem beliebigen Raummass, z. B. in Kubikcentimeter oder in Kubikzoll eingeteilt und mit Wasser gefüllt ist.

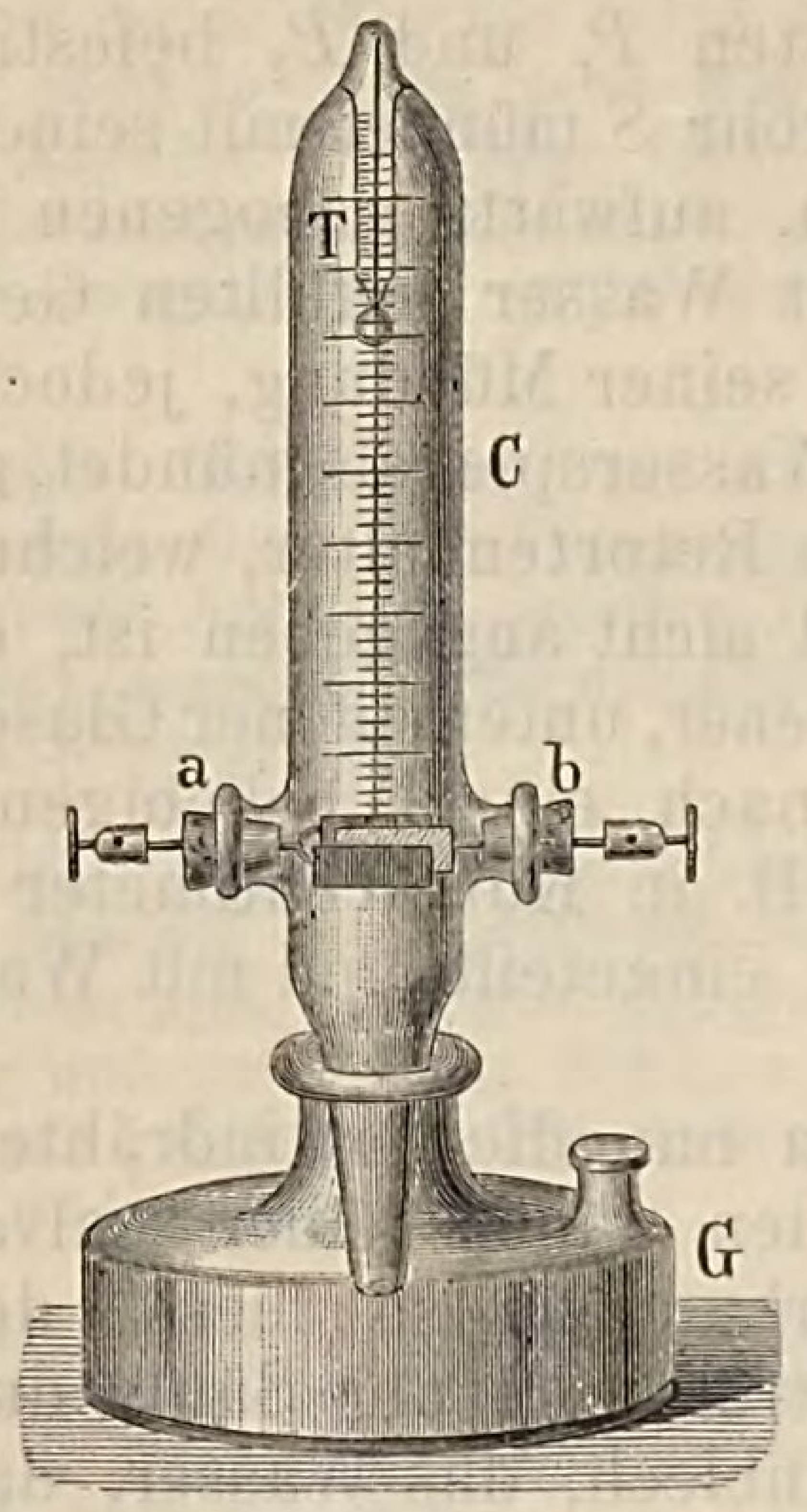
Werden nun die Platindrähte p_1 und p_2 mit den Polen einer galvanischen Säule verbunden, so fliesst der elektrische Strom von der Säule durch das eine Platinblech, das Wasser, das andre Platinblech nach der Säule und es wird die Zersetzung des Wassers in dem Glase *G* durch den elektrischen Strom bewirkt. Das sich dabei entwickelnde Knallgas tritt in die Röhre *R* und aus dieser in den Cylinder *C*, steigt in demselben empor und verdrängt daraus das Wasser. Wird nach einer bestimmten Zeit der Strom unterbrochen, so kann man an der Gradeinteilung des Cylinders *C* ablesen, wieviel Kubikcentimeter bezw. Kubikzoll Knallgas durch den elektrischen Strom während der Zeitdauer seiner Wirksamkeit abgeschieden worden ist (siehe Erkl. 214).

Frage 160. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Knallgasvoltameters von Kohlrausch?

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Knallgasvoltameters von Kohlrausch besteht in folgendem:

In den mittleren Hals eines mit zwei Hälsen versehenen starken und stabilen Glasgefässes *G*, siehe Figur 105, ist der graduierte Glascylinder *C* mit seinem unteren geöffneten Ende luftdicht eingeschliffen. Der Cylinder *C* ist oben geschlossen, trägt oben einen kleinen Thermometer *T* (siehe Erkl. 214) und

Figur 105.



unten die beiden seitlichen Röhren *a* und *b*, welche mit Kautschukstöpseln luftdicht verschlossen sind. Durch diese Stöpsel führen Röhrchen von Platin, welche in dem Cylinder ein bezw. zwei mit Gold angelötete Platinbleche tragen, und aussen mit je einer Klemmschraube verbunden sind. Das Platinblech der einen Stromzuleitung wird von den beiden Platinblechen der andern Stromzuleitung in einem Abstand von 3 Millimeter umschlossen; alle drei Bleche stehen vertikal.

Das Glasgefäss *G* ist bis über die Mündung des Cylinders *C* mit angesäuertem Wasser gefüllt. Um den Cylinder *C* ebenfalls mit der Flüssigkeit des Gefässes *G* zu füllen, schliesse man den seitlichen Hals von *G* und drehe den ganzen Apparat herum.

Beim Gebrauch wird die seitliche Oeffnung von *G* durch einen losen Deckel bedeckt und in die Klemmschrauben werden die Zuleitungsdrähte von einer galvanischen Säule eingeklemmt. Das durch den elektrischen Strom erzeugte Knallgas steigt von den Platinelektroden in dem Cylinder *C* in die Höhe und verdrängt daraus eine entsprechende Menge Wasser, welche in das Gefäss *G* fliesst.

Frage 161. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Knallgasvoltameters von Mohr?

Erkl. 215. Wenn bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Experiment die obere Oeffnung von *S* über dem Wasserspiegel von *F* steht, so übt der Teil der Wassersäule in *S*, welcher über dem Wasserspiegel in *F* steht, einen Druck auf das in *F* enthaltene Gas aus. Würde nun die Flasche *F* geöffnet, so würde soviel Gas hinausgedrängt werden, bis die Wasserspiegel in *S*, *F* und *T* vollkommen gleich hoch geworden, d. h. bis die durch den Gasdruck in *S* und *T* über den Wasserspiegel gehobene Wassermenge wieder auf gleiche Höhe mit derjenigen in *F* herabgesunken wäre und damit zugleich das in der Flasche noch enthaltene Gas unter demselben Druck stünde wie die Luft der Umgebung.

Wird dagegen die obere Oeffnung der Röhre *S*, siehe Figur 106, mit dem Wasserspiegel der Flasche *F* in gleiche Höhe gebracht, so fliesst

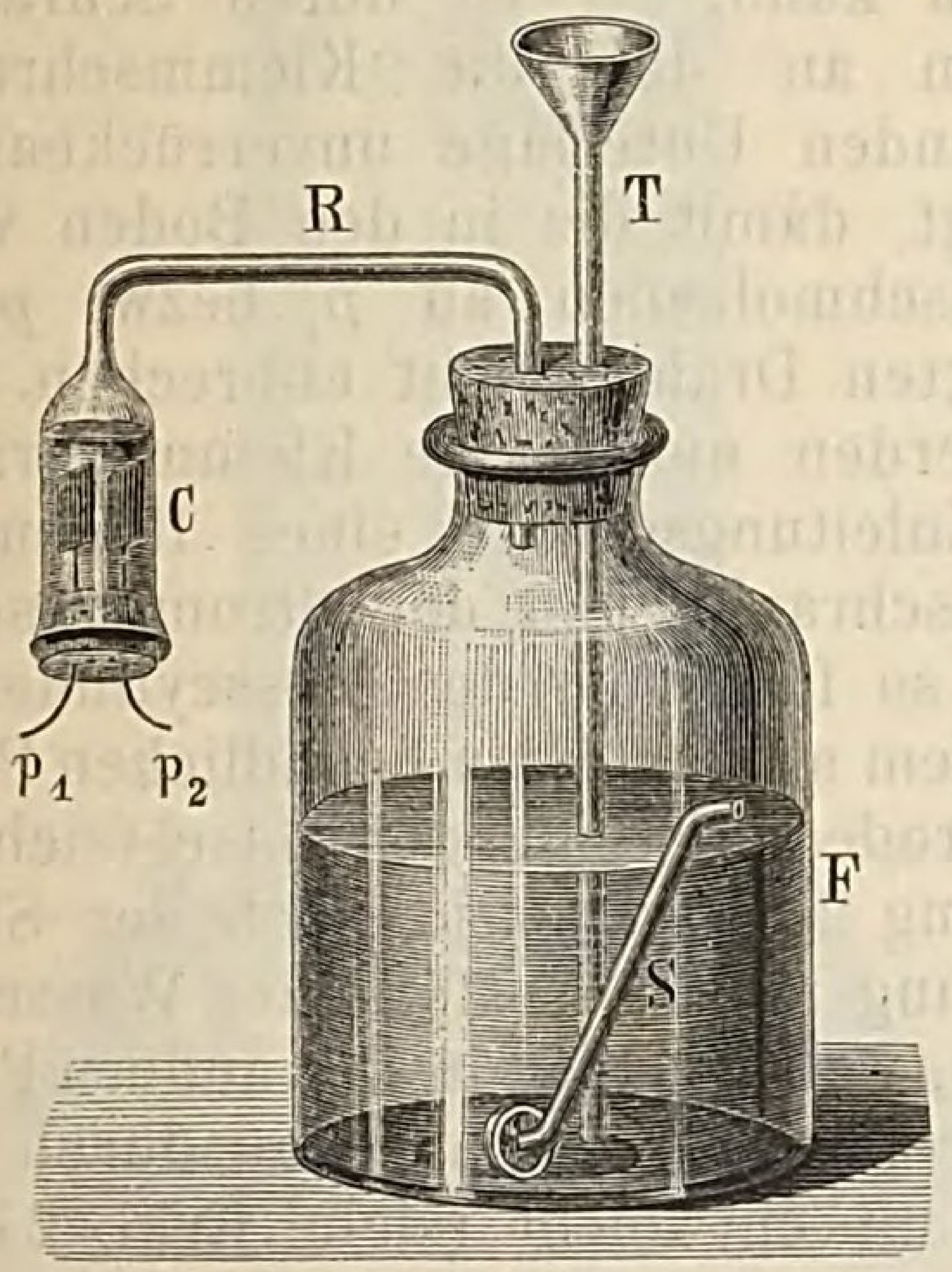
Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Knallgasvoltameters von Mohr besteht in folgendem:

Ein unten offener, oben an das Glasrohr *R*, siehe Figur 106, angeschmolzener Glascylinder *C* ist durch einen Stöpsel dicht verschlossen und enthält zwei Platinelektroden, welche mittels der durch den Stöpsel gehenden Platindrähte p_1 und p_2 gehalten werden. Die Glasröhre *R* mündet mit dem freien Ende in dem Stöpsel der Flasche *F*, durch welchen ferner ein Trichterrohr *T* bis auf den Boden der Flasche geführt ist. Dicht über dem Boden trägt die Flasche *F* einen Hals, in welchen die *Z*förmig gebogene Glasröhre *S* in einem Kork drehbar eingesetzt ist.

soviel Wasser aus dieser Oeffnung aus, dass das in der Flasche enthaltene Gas unter dem äusseren Luftdruck steht.

Ausführliches über die Gesetze des Gasdrucks findet man in den Lehrbüchern der Mechanik dieses Gesamtwerkes.

Figur 106.



Erkl. 216. Die in nebenstehender Antwort beschriebene Methode der Bestimmung der Knallgasmenge ist keine genaue, ist jedoch für solche Zwecke, für welche sie genügt, zu empfehlen, weil der Apparat, siehe Figur 106, leicht herzustellen und die Messung rasch auszuführen ist.

Zum Gebrauch fülle man *C* mit angesäuertem, *F* mit gewöhnlichem Wasser und hebe das obere Ende von *S* etwas über den Wasserspiegel von *F*. Alsdann schalte man den Apparat in den Stromkreis des zu messenden elektrischen Stroms mittels der Drähte p_1 und p_2 ein und schliesse den Strom mittels eines Schlüssels (siehe Antw. auf Frage 140) während einer bestimmten Zeit. Das entwickelte Knallgas tritt durch *R* in den oberen Teil von *F* und verdrängt daraus eine seinem Volum entsprechende Menge Wasser, welche durch *S* in ein besonderes, in Figur 106 nicht dargestelltes Messgefäss abfliesst. Es ist dabei darauf zu achten, dass der Druck, unter welchem das Knallgas in *F* steht, dem äusseren Luftdruck genau gleich ist; zu diesem behufe schiebe man nach erfolgter Unterbrechung des elektrischen Stroms die obere Oeffnung von *S* soweit herab, dass der Wasserspiegel in *F* und in *T* gleich hoch ist (siehe Erklärung 215). Das ausgeflossene Wasser besitzt nun denselben Rauminhalt wie das Knallgas, welches dasselbe aus der Flasche *F* verdrängt hat; wird dasselbe gemessen, so ist das gefundene Wasservolum gleich dem Volum Knallgas, welches in der bestimmten Zeit durch den elektrischen Strom entwickelt wurde (siehe Erkl. 216).

Frage 162. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Wasservoltameters von de la Rive?

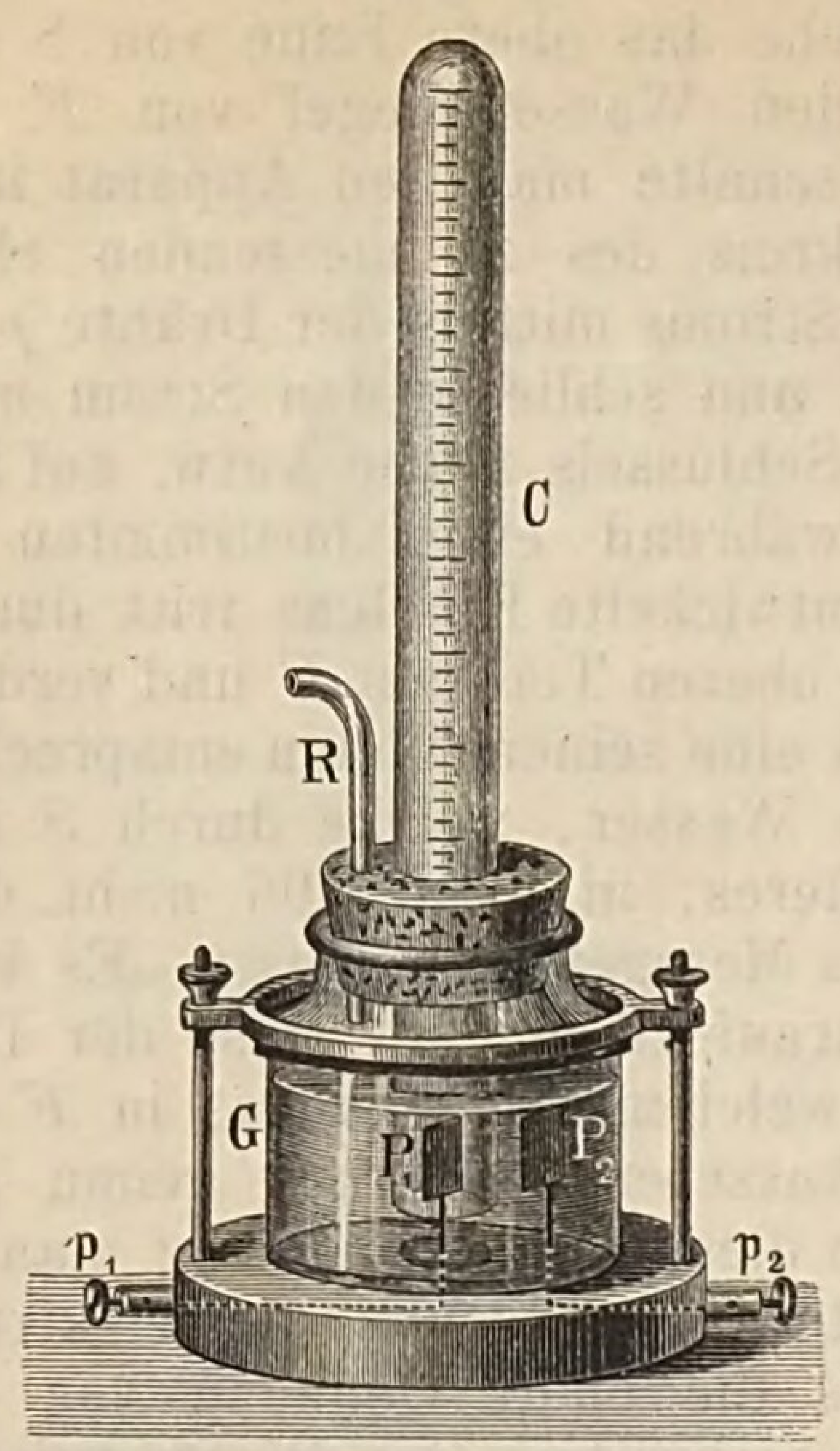
Erkl. 217. Wie in einem späteren Abschnitt dargethan, ist der Vorgang bei der Wasserzersetzung durch den elektrischen Strom folgender:

An derjenigen Voltameterelektrode (Platinplatte), welche mit dem positiven Pol des Rheomotors verbunden ist, wird Sauerstoff, an der mit dem negativen Pol verbundenen Voltameterelektrode Wasserstoff entwickelt.

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Wasservoltameters von de la Rive besteht in folgendem:

Der graduierte Messcylinder *C*, siehe Figur 107, ist durch einen Stöpsel in das Glasgefäss *G* eingesetzt; in dem Stöpsel befindet sich noch ein kurzes oben gebogenes, beiderseits offenes Röhrchen *R*. In den Boden von *G* sind zwei Platindrähte eingeschmolzen, welche mit den Klemmschrauben p_1 und p_2 in leitender Verbindung stehen, und innerhalb des Gefässes *G* je eine Platinplatte P_1 und P_2 tragen. P_1 befindet sich innerhalb des unteren Teils von *C*, P_2 steht seitlich. *G* ist bis über den oberen

Figur 107.



Rand der Platinplatten mit angesäuertem Wasser gefüllt; um den Messingcylinder *C* ebenfalls damit zu füllen, wird der Apparat nach der Seite umgelegt, so dass das gebogene Ende von *R* nach oben steht, mithin aus *R* bei dieser Manipulation kein Wasser austreten kann. *G* ist durch Schraubenbolzen an der die Klemmschrauben tragenden Unterlage unverrückbar befestigt, damit die in den Boden von *G* eingeschmolzenen an p_1 bezw. p_2 befestigten Drähte nicht abbrechen.

Werden nun in die Klemmschrauben die Zuleitungsdrähte eines Rheomotors eingeschraubt und der Strom geschlossen, so füllt sich der Messcylinder nur mit dem an der darin befindlichen Platinelektrode aufsteigenden Gase (siehe Erklärung 217), also je nach der Stromrichtung mit Sauerstoff oder Wasserstoff allein, während das in der andern Platinelektrode aufsteigende Gas durch *R* in die Luft entweicht (siehe Erkl. 218).

Erkl. 218. Wird, wie in nebenstehender Antwort beschrieben, nur einer der beiden Bestandteile des Wassers, also entweder nur der Sauerstoff oder nur der Wasserstoff, zur Messung der Stromstärke verwendet, so muss man das erhaltene Gasvolum auf dasjenige Volum Knallgas umrechnen, welches man erhalten haben würde, wenn man das Gemisch beider Gase, das Knallgas, in der Messröhre gesammelt hätte. Näheres darüber findet man im mathematischen Teil dieses Lehrbuches.

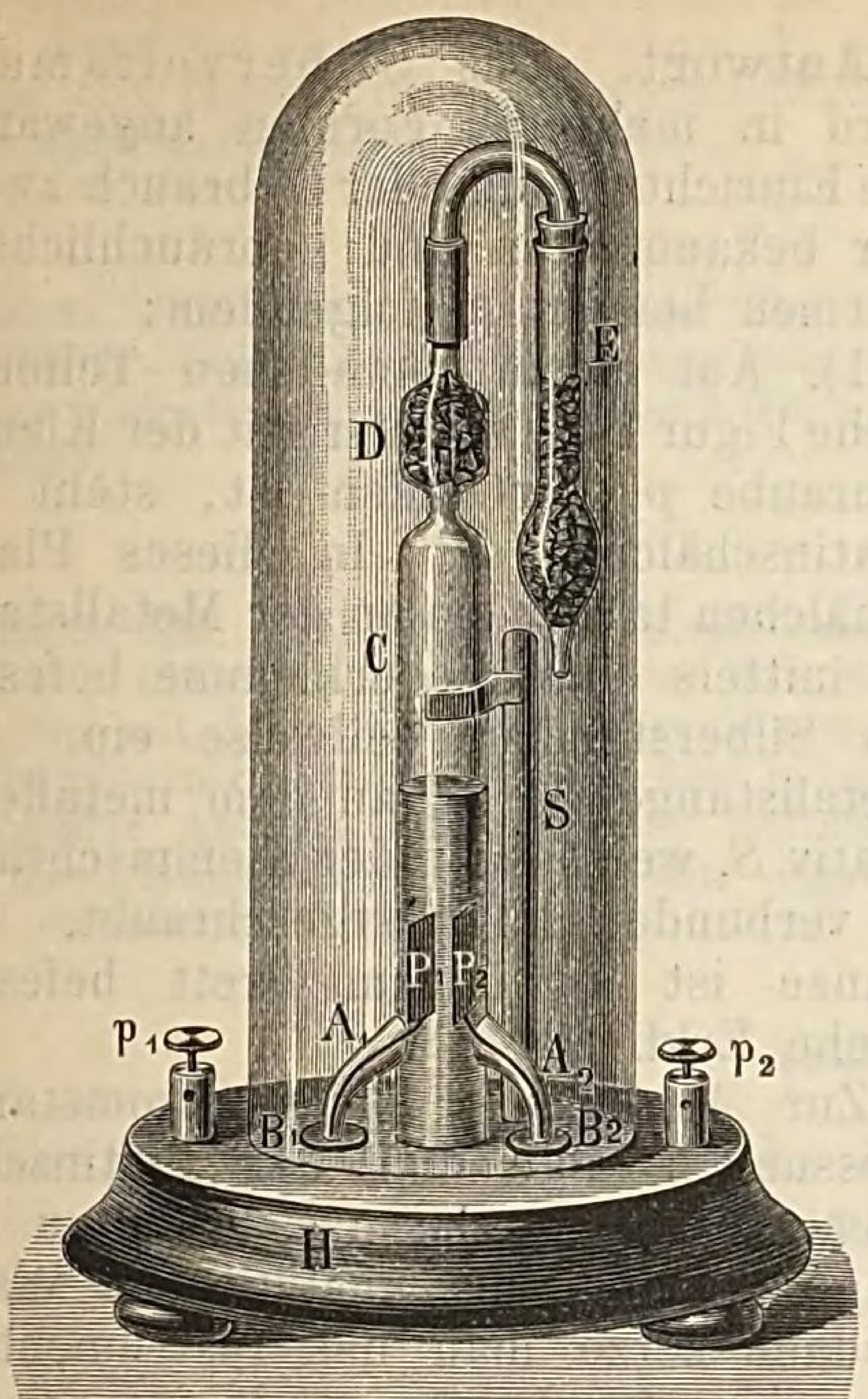
Frage 163. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Wasservoltameters von Ledingham?

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Wasservoltameters von Ledingham besteht in folgendem:

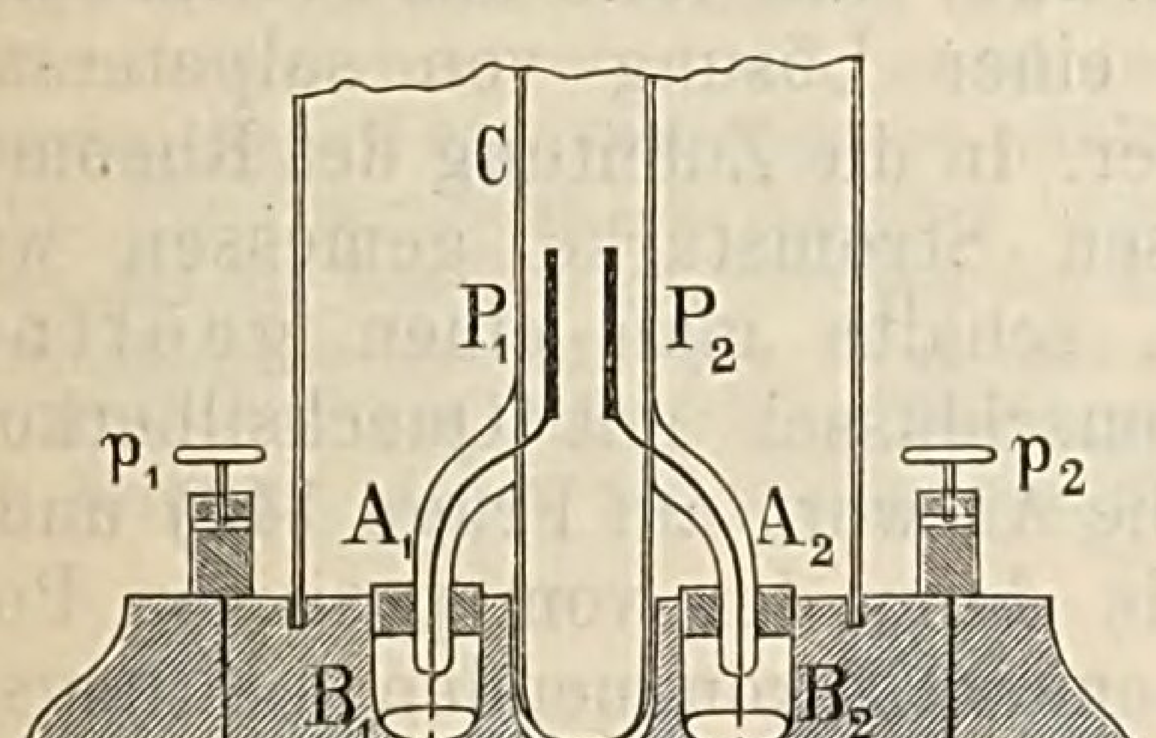
Der zum Teil mit Wasser gefüllte Glascylinder *C*, siehe die Figuren 108 und 109, ist mit seinem unteren geschlossenen Ende in die Holzplatte *H* eingelassen und wird durch ein Stativ *S* nebst Klammer in senkrechter Stellung gehalten. An die Wand desselben sind aussen zwei Glasröhren A_1 und A_2 angeschmolzen, durch welche je ein Platindraht in das Innere des Cylinders *C* führt und hier je eine Platinplatte P_1 und P_2 trägt; die freien Enden der Platindrähte ragen etwas aus dem un-

Erkl. 219. Bei der Wasserzersetzung wird häufig von den aufsteigenden Gasen etwas Wasser mitgerissen. Um dasselbe zurückzuhalten, ist bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Apparat auf den Cylinder *C* (siehe Figur 108) das mit Glaswolle gefüllte Cylinderchen *D* gesetzt. Zur völligen Trocknung der Gase, also zur Vermeidung eines Verlustes an Feuchtigkeit, dient die mit Chlorcalcium gefüllte Röhre (siehe Erkl. 75).

Figur 108.



Figur 109.



teren geöffneten Ende der Glasröhren heraus und tauchen, wenn C in die Holzplatte eingesetzt ist, in zwei Quecksilbernäpfe B_1 und B_2, welche mit den Klemmschrauben p_1 und p_2 in leitender Verbindung stehen. An dem oberen Ende des Cylinders C ist ein kleines Cylinderchen D angeblasen, welches mit Glaswolle lose gefüllt ist. D ist mittels eines Stückckens Gummischlauch mit einem ∩ förmigen Rohrstück verbunden, dessen anderes Ende durch den Stöpsel des Chlorcalciumrohrs E geht (siehe Erkl. 219). Das Ganze ist mit einer Glasglocke überdeckt. S ist ein Platindraht mit Oese, mittels dessen der Glaskörper an einer Wage aufgehängt werden kann.

Beim Gebrauch des Instruments schalte man es durch Vermittlung der Klemmschrauben p_1 und p_2 in den Stromkreis ein und schliesse den Strom so lange, bis alle atmosphärische Luft mit Sicherheit aus C, D und E durch das Knallgas verdrängt ist. Alsdann nehme man den Glaskörper CDE aus dem Stativ heraus, wäge ihn auf einer analytischen Wage, setze ihn wieder in das Stativ und schliesse den Strom durch Herabdrücken des Glaskörpers, so dass die Platindrähte in das Quecksilber von B_1 bezw. B_2 eintauchen. Nach einer bestimmten Zeit der Einwirkung des elektrischen Stroms wäge man den Glaskörper zum zweitenmal, so ist die Gewichtsdifferenz der beiden Wägungen gleich dem Gewicht des durch den elektrischen Strom in der Zeit seiner Einwirkung zersetzten Wassers.

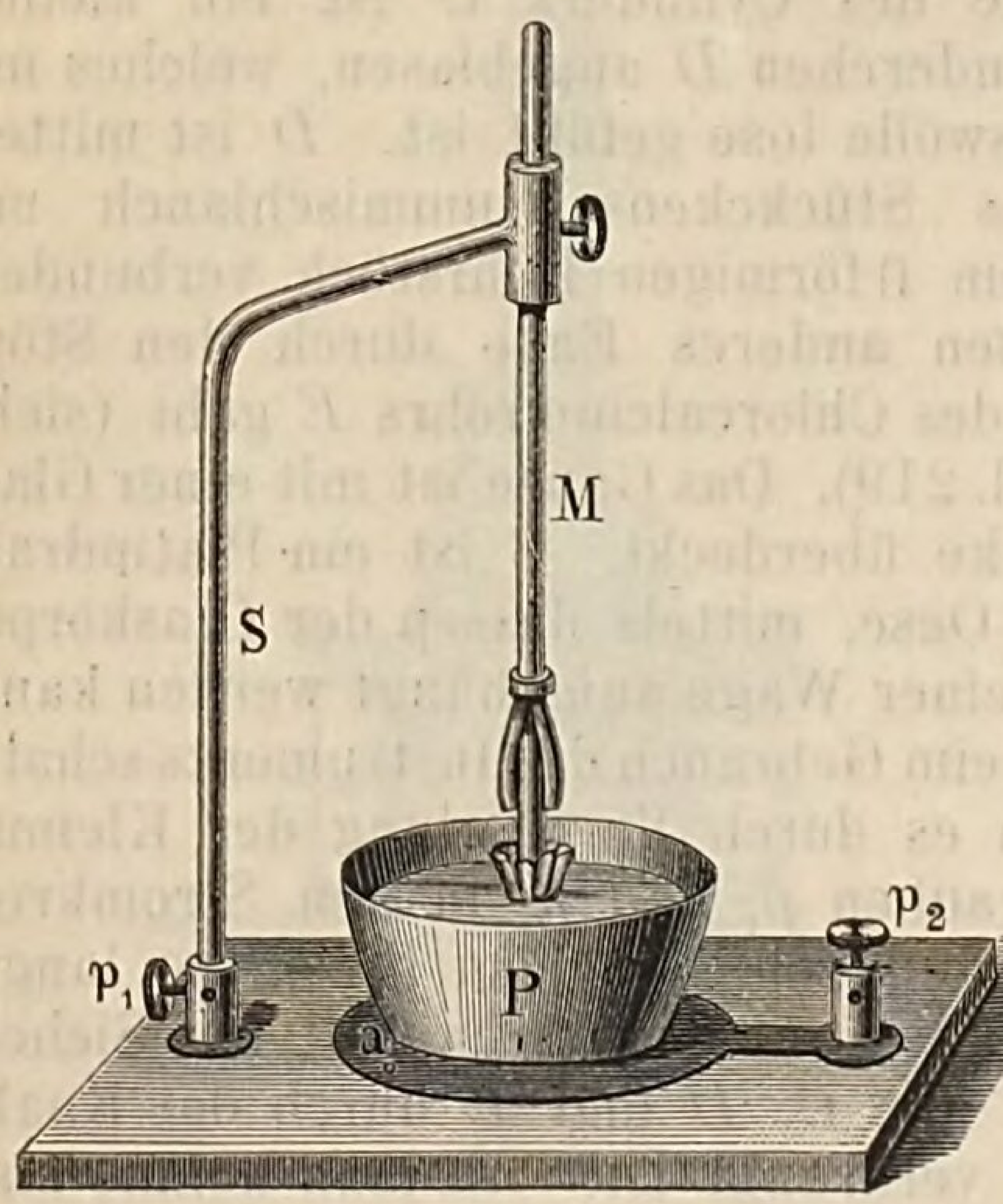
c). Ueber das Silber- und Kupfervoltameter.

Frage 164. Was versteht man unter einem Silbervoltameter, bezw. einem Kupfervoltameter?

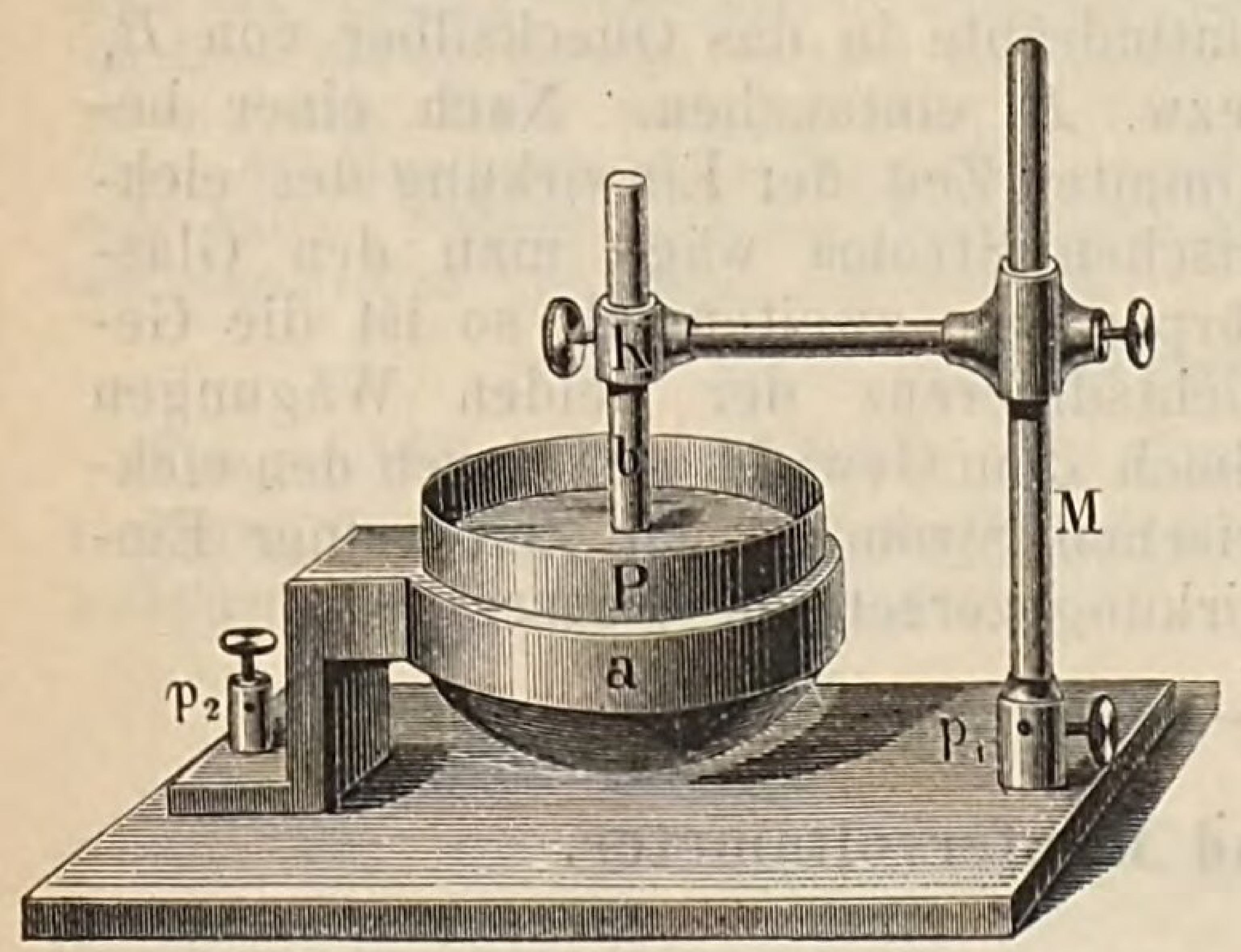
Antwort. Unter einem Silbervoltameter, bezw. einem Kupfervoltameter versteht man ein Rheometer, in welchem durch den zu messenden elektrischen Strom aus einem Silber- bezw. Kupfersalz das Metall ausgeschieden wird [siehe Antwort auf Frage 155 unter 2). und 3).].

Frage 165. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Silbervoltameters?

Figur 110.



Figur 111.



Erkl. 220. Das in nebenstehender Antwort unter 1). beschriebene Silbervoltameter ist von *Poggendorff* angegeben.

Erkl. 221. Bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Experiment lösen sich Teil-

Antwort. Das Silbervoltameter wird in mehreren Formen angewandt; die Einrichtung und der Gebrauch zweier der bekanntesten und gebräuchlichsten Formen besteht in folgendem:

1). Auf einem metallenen Teller a, siehe Figur 110, welcher mit der Klemmschraube p_2 verbunden ist, steht das Platinschälchen P. In dieses Platinschälchen taucht ein an der Metallstange M mittels einer Federklemme befestigtes Silberstäbchen teilweise ein. Die Metallstange M ist an dem metallenen Stativ S, welches mit der Klemmschraube p_1 verbunden ist, festgeschraubt. Das Ganze ist auf einem Brett befestigt (siehe Erkl. 220).

Zur Ausführung einer Stromstärkemessung reinige man das Platinschälchen, glühe es, lasse es erkalten und wäge es auf einer analytischen Wage; alsdann setze man das Instrument in der eben beschriebenen Weise zusammen, umhülle das Silberstäbchen mit einem feinen Leinwandläppchen (siehe Erkl. 221) und fülle das Platinschälchen mit einer Lösung von salpetersaurem Silber. In die Zuleitung des Rheomotors, dessen Stromstärke gemessen werden soll, schalte man einen geöffneten Stromschlüssel mit Quecksilberkontakt (siehe Antwort auf Frage 143) und verbinde dann den vom positiven Pol des Rheomotors kommenden Leitungsdraht mit p_1, den vom negativen Pol kommenden Leitungsdraht mit p_2. Alsdann schliesse man den Strom mittels des Stromschlüssels während einer bestimmten Zeit (siehe Erkl. 207). Nachdem man den Strom wieder unterbrochen, entleere man das Platinschälchen und wasche es mit destilliertem Wasser aus, wobei man darauf achte, dass von dem Silberniederschlag (siehe Erkl. 223) nichts verloren wird. Alsdann glühe man das Schälchen schwach, lasse es erkalten und wäge es. Die Gewichtsdifferenz zwischen der nach der Messung und der vor der Messung gemachten Wägung ist das Gewicht des von dem gemessenen

chen von dem Silberstäbchen während des Durchgangs des elektrischen Stroms ab. Damit dieselben nicht in die Schale P, siehe Figur 110, fallen, wird das Silberstäbchen mit Leinwand umhüllt (siehe Erkl. 222).

Erkl. 222. Statt des in voriger Erklärung erwähnten Leinwandläppchens kann man auch einen kleinen Cylinder von porösem Thon verwenden.

Erkl. 223. Der elektrische Strom scheidet aus den Lösungen der Metallsalze das Metall auf der mit dem negativen Pol des Rheomotors verbundenen Elektrode ab. Bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Voltameter ist das Platinschälchen die mit dem negativen Pol verbundene Elektrode.

Strom in der angewendeten Zeit niedergeschlagenen Silbers.

2). Eine andere Form des unter 1). beschriebenen Apparats besteht in folgendem:

Das Platin- oder Silberschälchen P, siehe Figur 111, ruht in dem Metallring a, welcher so geformt ist, dass er mit der Innenseite möglichst genau an dem Schälchen anliegt. Der Metallring a steht mit der Klemmschraube p_2 in leitender Verbindung. Der Silberstab b ist in die Klemmschraube k des Stativs M eingeklemmt. Im übrigen ist die Einrichtung und der Gebrauch dieses Instruments derselbe wie bei dem unter 1). beschriebenen und durch Figur 110 dargestellten Silbervoltameter.

Frage 166. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Kupfervoltameters?

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Kupfervoltameters ist

1). ähnlich derjenigen des in voriger Antwort beschriebenen Silbervoltameters, nur ist der Silberstab des letzteren durch einen dicken unten abgerundeten Kupferstab, das salpetersaure Silber durch eine Lösung von Kupfervitriol ersetzt.

2). Das Kupfervoltameter wird auch in folgender Form angewendet:

In einem Glasgefäss steht ein Kupferblech und ein Platinblech, beide von gleicher Grösse und quadratischer Form. (Statt des einen Kupferblechs werden besser deren zwei verwendet, welche beide mit dem positiven Pol verbunden sind. Das Platinblech erhält alsdann seinen Platz in der Mitte zwischen den beiden Kupferblechen.) Das Glasgefäss ist mit konzentrierter Lösung von Kupfervitriol gefüllt. Das Kupferblech wird mit dem positiven, das Platinblech mit dem negativen Pol des Rheomotors, dessen Stromstärke gemessen werden soll, verbunden.

Auch bei dem Kupfervoltameter ist es empfehlenswert, die Kupferelektrode mit Leinwand (oder Fliesspapier) (siehe vorige Antwort) zu umgeben (siehe die Erkl. 224—226).

Erkl. 224. Wird das in nebenstehender Antwort beschriebene Voltameter zur Messung eines starken Stroms verwendet, so ist die unter 2). beschriebene Form desselben zu wählen. Ist nämlich die Oberfläche des Kupfers bedeutend kleiner als die des Platins, so wird die Kupfervitriollösung sauer und die freie Säure löst einen Teil des auf dem Platin niedergeschlagenen Kupfers wieder auf (siehe Erkl. 225).

Erkl. 225. Ausführliches über die Vorgänge bei der Zersetzung chemischer Körper durch den elektrischen Strom findet man in einem späteren Abschnitt.

Erkl. 226. Das Kupfervoltameter gibt weniger sichere Resultate als das Silbervoltameter.

C). Ueber die Galvanometer.

Frage 167. Was versteht man unter einem Galvanometer?

Antwort. Ein Galvanometer ist ein Rheometer (siehe Antw. auf Frage 153), mittels dessen die Intensität eines elektrischen Stroms durch die von diesem Strom bewirkte Ablenkung einer Magnetnadel gemessen wird (siehe die Erkl. 227—234).

Erkl. 227. Eine Magnetnadel ist ein rautenförmiges magnetisches Stahlstäbchen *NS*, siehe Figur 112, welches in seinem Schwerpunkt bei *m* frei schwebend oder hängend befestigt ist, wobei es durch den Einfluss des Erdmagnetismus so gerichtet wird, dass es mit der einen Spitze nach Norden, mit der andern Spitze nach Süden zeigt (siehe die Erkl. 228 und 229).

Erkl. 228. Diejenige Spitze *N*, siehe Figur 112, einer Magnetnadel (siehe vorige Erklärung), welche unter dem alleinigen Einfluss des Erdmagnetismus nach Norden zeigt, wird Nordpol, die nach Süden zeigende Spitze wird Südpol genannt.

Erkl. 229. Eine Magnetnadel wird aus ihrer durch den Einfluss des Erdmagnetismus bedingten (natürlichen) Richtung durch in der Nähe befindliche eiserne Gegenstände abgelenkt.

Erkl. 230. Wird in der Nähe einer Magnetnadel ein elektrischer Strom vorbeigeleitet, so wird die Magnetnadel aus ihrer durch den Einfluss des Erdmagnetismus bedingten Lage abgelenkt, und zwar je nach der Nähe und Intensität des vorbeigeleiteten elektrischen Stroms mehr oder weniger (siehe Erkl. 231).

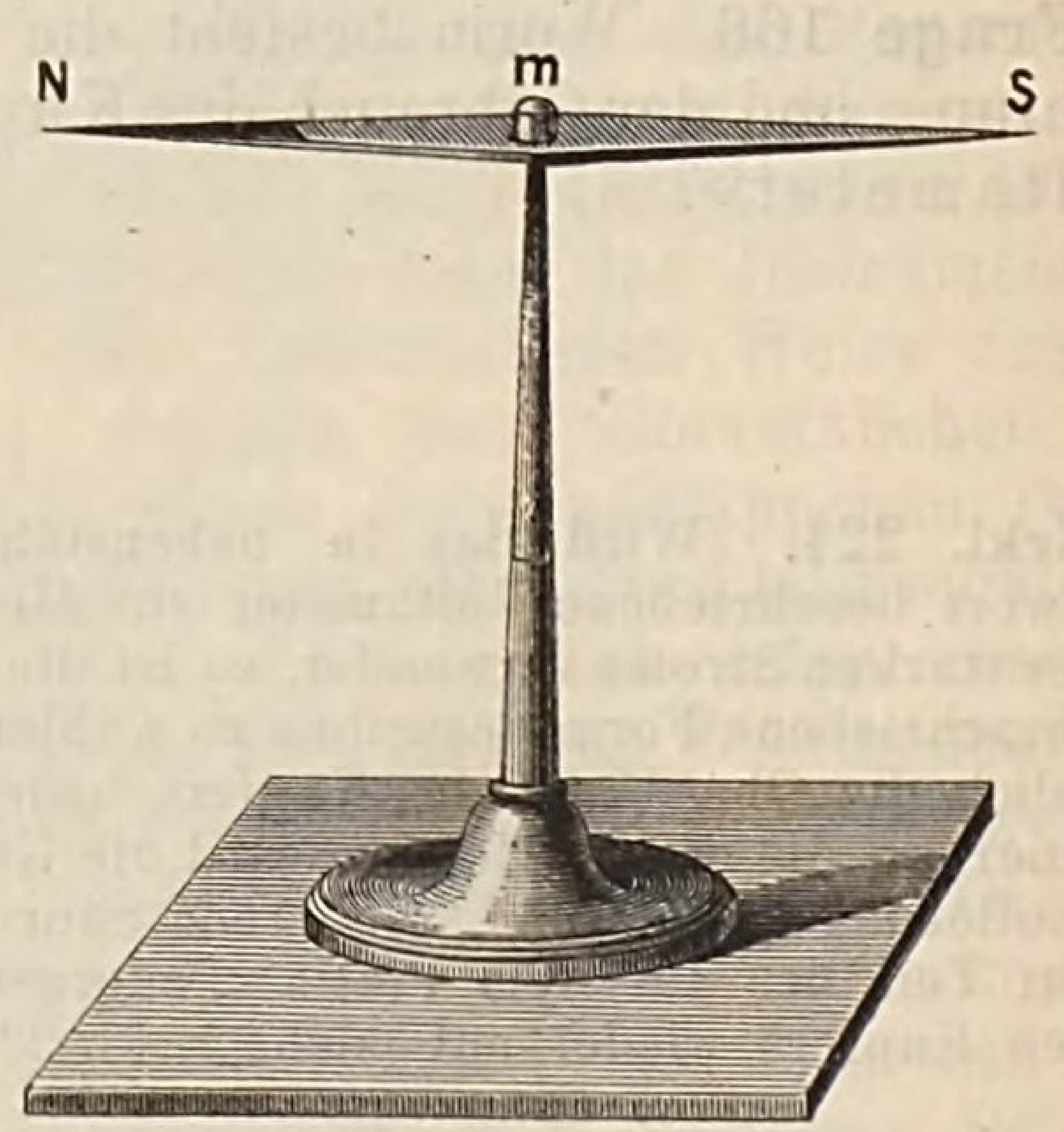
Erkl. 231. Der Winkel, um welchen eine Magnetnadel aus ihrer natürlichen Lage durch magnetische (siehe Erkl. 229) oder elektrische (siehe Erkl. 230) Einflüsse abgelenkt wird, heisst der Ablenkungswinkel.

Erkl. 232. Wird eine Magnetnadel durch einen elektrischen Strom abgelenkt, so steht der Ablenkungswinkel (siehe vorige Erklärung) in einem bestimmten mathematischen Verhältnis zu der Intensität des ablenkenden Stroms. Ausführliches darüber findet man im mathematischen Teil dieses Lehrbuches.

Erkl. 233. Ausführliches über die Eigenschaften von Magnetnadeln (Magneten) findet man in dem Lehrbuch des Magnetismus und Erdmagnetismus dieses Werkes.

Erkl. 234. Ausführliches über die Einwirkung des elektrischen Stroms auf die Magnetnadel findet man in dem Lehrbuch des Elektromagnetismus dieses Werkes.

Figur 112.



Frage 168. Welches ist das einfachste Galvanometer?

Antwort. Das einfachste Galvanometer ist das Tangentengalvanometer oder die Tangentenbussole (siehe die Erkl. 235 und 236).

Erkl. 235. Das in nebenstehender Antwort bezeichnete Galvanometer hat den Namen Tangentengalvanometer erhalten, weil die Intensität eines mit diesem Galvanometer gemessenen elektrischen Stroms in einem bestimmten mathematischen Verhältnis zur trigonometrischen Tangente des durch diesen Strom erhaltenen Ablenkungswinkels (siehe Erkl. 231) steht (siehe Erkl. 236).

Erkl. 236. Ausführliches über die Beziehung zwischen der Stromstärke und dem Ablenkungswinkel der Galvanometer findet man im mathematischen Teil dieses Lehrbuches.

Frage 169. Worin besteht die Einrichtung der Weberschen Tangentenbussole?

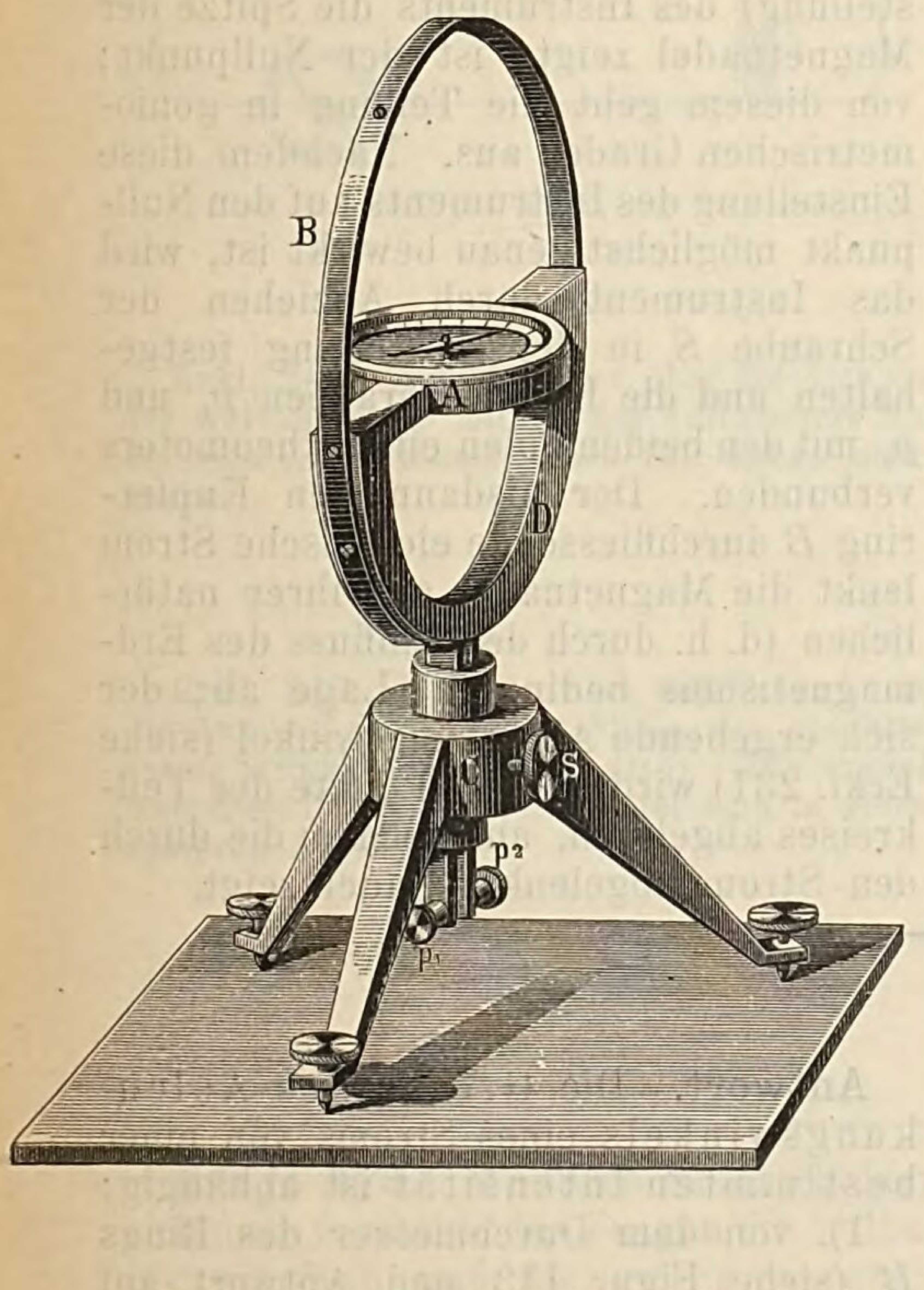
Antwort. Die Einrichtung der Weberschen Tangentenbussole, siehe Figur 113, besteht aus folgenden drei Hauptteilen (siehe Erkl. 238):

1). Die Bussole (siehe Erkl. 237). In dem cylindrischen Gehäuse A ist eine kleine Magnetnadel (siehe Erkl. 227) auf einer Spitze von Stahl oder Achat frei beweglich aufgehängt (siehe Erkl. 239). Dieselbe ist von einem mit Gradeinteilung versehenen Teilkreis umgeben. Das Gehäuse A ist durch einen Glasdeckel verschlossen.

2). Die Stromleitung. Dieselbe besteht aus einem senkrechten, unten offenen kupfernen Ring B mit flachem oder cylindrischem Querschnitt, dessen beide Enden unten zwei von einander isolierte senkrechte Kupferstreifen tragen, an deren freien Enden die beiden Klemmschrauben p_1 bezw. p_2 befestigt sind. In der Mitte des Rings B ist die Bussole A auf einem halbkreisförmigen Gestell D befestigt; an dem äusseren Rand desselben ist der Kupferring festgeschraubt.

3). Das Gestell. Dasselbe besteht aus einem Dreifuss C, in welchem die unter 2). erwähnten senkrechten Kupferstreifen befestigt sind. Die Schraube S dient dazu, die Bussole A samt dem Kupferkreis B, nachdem sie durch Drehen um ihre vertikale Achse in die richtige Stellung gebracht ist, in dieser Stellung festzuhalten (siehe folgende Antwort).

Figur 113.



Erkl. 237. Bussole (vom mittelalterl. latein. buxola = Büchse) heisst Gehäuse (siehe auch das Lehrbuch des Magnetismus dieses Werkes, Erkl. 207 u. 210). Unter einer Bussole versteht man in der Physik einen Kompass.

Die Füsse des Gestells stehen auf Schrauben, mittels welcher die Stellung des Instruments so reguliert wird, dass die Magnetnadel der Bussole wagrecht steht.

Erkl. 238. Jede Tangentenbussole besteht aus den in nebenstehender Antwort bezeichneten drei Hauptteilen. Der Unterschied der verschiedenen Tangentenbussolen liegt in der Anordnung und der Konstruktion (siehe das Lehrb. des Elektromagnetismus dieses Werkes).

Erkl. 239. Die Magnetnadel der Tangentenbussolen muss im Verhältnis zum Durchmesser der Stromleitung [siehe nebenstehende Antwort unter 2).] klein sein. Der Grund hierfür ist im mathematischen Teil dieses Lehrbuches erklärt.

Frage 170. Worin besteht der Gebrauch der Tangentenbussole?

Antwort. Der Gebrauch der Tangentenbussole besteht in folgendem:

Man stelle das Instrument, siehe Figur 113, so ein, dass die Magnetnadel der Bussole in der Vertikalebene des Kupferringes liegt (siehe Erkl. 240). Der Punkt des Teilkreises der Bussole A (siehe Figur 113 und vorige Antwort), auf welchen bei dieser Stellung (der Einstellung) des Instruments die Spitze der Magnetnadel zeigt, ist der Nullpunkt; von diesem geht die Teilung in goniometrischen Graden aus. Nachdem diese Einstellung des Instruments auf den Nullpunkt möglichst genau bewirkt ist, wird das Instrument durch Anziehen der Schraube S in der Einstellung festgehalten und die Klemmschrauben p_1 und p_2 mit den beiden Polen eines Rheomotors verbunden. Der alsdann den Kupferring B durchfliessende elektrische Strom lenkt die Magnetnadel aus ihrer natürlichen (d. h. durch den Einfluss des Erdmagnetismus bedingten) Lage ab; der sich ergebende Ablenkungswinkel (siehe Erkl. 231) wird an dem Punkte des Teilkreises abgelesen, auf welchen die durch den Strom abgelenkte Nadel zeigt.

Erkl. 240. Bei der in nebenstehender Antwort bezeichneten Stellung der Magnetnadel befindet sich der Kupferring in der Ebene des magnetischen Meridians (siehe Erkl. 241).

Erkl. 241. Die Definition des magnetischen Meridians findet man in *Kleyers* Lehrbuch des Magnetismus (siehe dort Antwort auf Frage 83 und Figur 78).

Frage 171. Von welchen Faktoren ist die Grösse des Ablenkungswinkels eines Stroms von bestimmter Intensität abhängig?

Antwort. Die Grösse des Ablenkungswinkels eines Stroms von einer bestimmten Intensität ist abhängig:

1). von dem Durchmesser des Rings B (siehe Figur 113 und Antwort auf Frage 169),

2). von der Intensität des Erdmagnetismus des Beobachtungsorts (siehe Erkl. 242),

Erkl. 242. Unter der Intensität des Erdmagnetismus versteht man die Stärke der Kraft, mit welcher derselbe eine Magnetnadel in ihrer natürlichen Richtung (siehe Erkl. 227) zu erhalten strebt (siehe Erkl. 243).

Erkl. 243. Die Intensität des Erdmagnetismus ist an verschiedenen Orten der Erde verschieden.

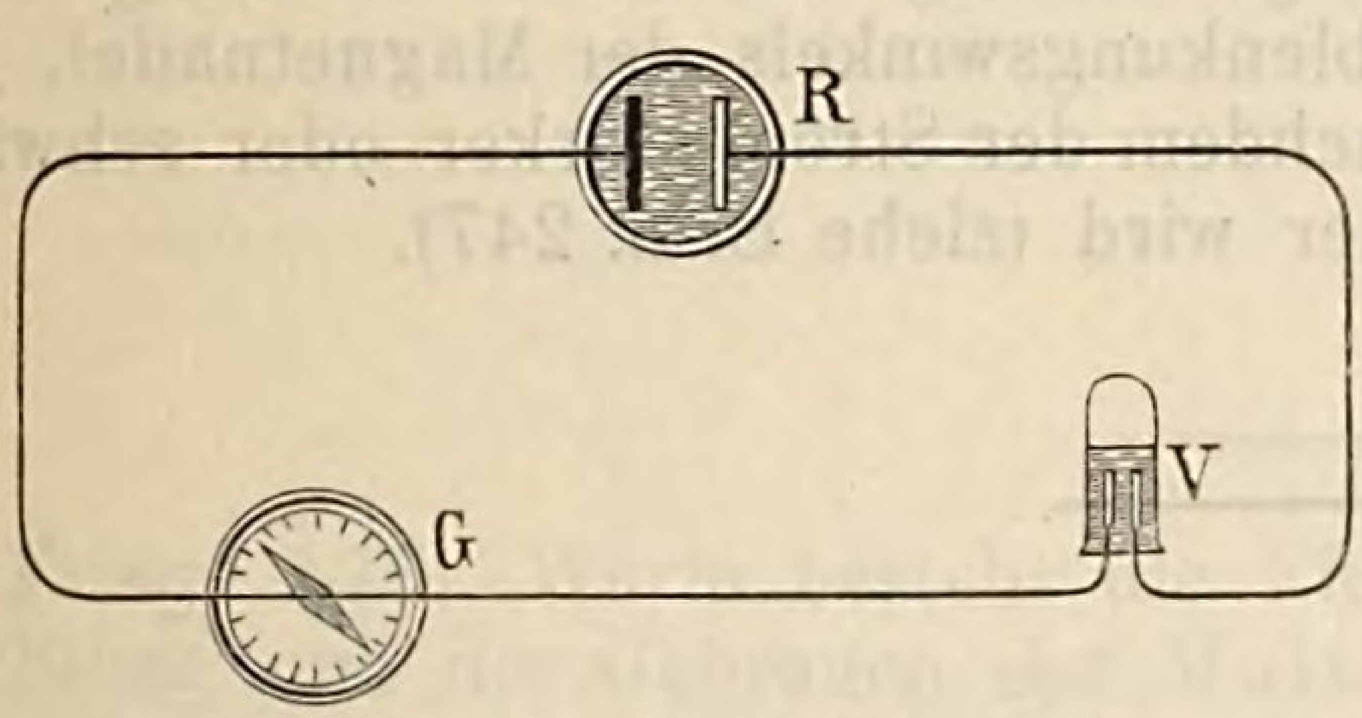
Erkl. 244. Der Leitungswiderstand (siehe Erkl. 91) einer Tangentenbussole, d. i. der Widerstand des Rings *B*, siehe Figur 113, ist sehr gering.

3). von dem Leitungswiderstand des Instruments (siehe Erkl. 244).

Frage 172. Was versteht man unter der Aichung eines Messinstruments und in welcher Weise wird ein bestimmtes Galvanometer für einen bestimmten Ort geaicht?

Antwort. Unter der Aichung eines Messinstruments im allgemeinen versteht man die Bestimmung des Werts der Angaben des Instruments. Die Aichung eines Galvanometers besteht also in der Feststellung des Verhältnisses zwischen der Grösse des Ablenkungswinkels (siehe Erkl. 231) des zu aichenden Galvanometers und derjenigen Intensität eines elektrischen Stroms, welche diesen Ablenkungswinkel hervorbringt.

Figur 114.



Diese Aichung muss nach voriger Antwort mit jedem einzelnen Galvanometer, und bei ein und demselben Instrument für jeden Ort der Erde, an welchem es verwendet werden soll, vorgenommen werden. Sie wird am einfachsten in folgender Weise ausgeführt:

Das zu aichende Galvanometer *G*, siehe die schematische Figur 114, und ein Wasser-, Silber- oder Kupfervoltameter *V* [siehe Antw. auf Frage 154 unter 1).] schalte man hintereinander in den Stromkreis eines Rheomotors *R* (siehe Erkl. 187), schliesse den Strom während einer bestimmten Zeit, bestimme alsdann nach den Antworten auf die Fragen 159 bis 166 die Stromstärke und bemerke den gleichzeitig sich ergebenden Ablenkungswinkel des Galvanometers. Dieser Ablenkungswinkel entspricht sonach derjenigen Stromstärke, welche gleichzeitig in dem Voltameter bestimmt wurde (siehe die Erkl. 245 und 246).

Erkl. 245. Ausführliches über die Aichung der Galvanometer mittels des Voltameters findet man im mathematischen Teil dieses Lehrbuches.

Erkl. 246. Nach Antwort auf Frage 38 ist die Stromstärke an jeder Stelle des geschlossenen Stromkreises gleich gross. Die experimentellen Beweise hierfür findet man in einem späteren Abschnitt.

Frage 173. Wodurch unterscheiden sich nach vorstehenden Fragen die voltametrischen und die galvanometrischen Methoden der Messung der Stromstärke?

Antwort. Der Unterschied zwischen den voltametrischen und den galvanometrischen Methoden der Messung der Stromstärke besteht in folgendem:

Um die Intensität eines elektrischen Stroms mittels des Voltameters zu messen, muss man den Strom eine bestimmte längere Zeit auf das Voltameter einwirken lassen; die Strommessung gibt demnach nur einen mittleren Wert während jener angewendeten Zeit, sie gibt keinen Aufschluss über die Schwankungen, welchen die Stromstärke während der Dauer der Messung unterworfen war.

Dagegen ergibt die Messung mittels des Galvanometers die Intensität des Stroms in jedem beliebigen Augenblick, jede Schwankung der Intensität findet ihren gleichzeitigen Ausdruck in der Vergrösserung oder Verkleinerung des Ablenkungswinkels der Magnetnadel, je nachdem der Strom stärker oder schwächer wird (siehe Erkl. 247).

Erkl. 247. Ausser dem in nebenstehender Antwort erörterten Unterschied zwischen Voltameter und Galvanometer besteht noch ein weiterer: Der Widerstand (siehe Erkl. 91) eines Voltameters (sein innerer Widerstand) ist beträchtlich und auch je nach dem Säuregehalt des Wassers und der Entfernung zwischen den Elektroden variabel, während der Widerstand der Tangentenbussole gering (siehe Erkl. 244) und bei jedem Galvanometer stets unveränderlich derselbe ist.

Ausführliches über den Einfluss des Leitungswiderstands auf die Stromstärke findet man in einem späteren Abschnitt (siehe Erkl. 248).

Erkl. 248. Der in voriger Erklärung erwähnte Widerstand der Voltameter bewirkt eine Verringerung der Stromstärke des mit dem Voltameter verbundenen Rheomotors. Man erhält also bei der voltametrischen Messung stets eine Stromstärke, welche, dem Widerstand des Voltameters entsprechend, geringer ist als ohne Einschaltung desselben. Man erhält also nicht die Intensität des vorhandenen Stromkreises, sondern diejenige des Stromkreises, in welchem das Voltameter eingeschaltet ist.

6). Ueber die Apparate zum Nachweis elektrischer Ströme.

(Voltaskope, Galvanoskope und Multiplikatoren.)

Frage 174. Welcher Instrumente bedient man sich zum Nachweis elektrischer Ströme überhaupt?

Antwort. Um in einem Stromkreis das Vorhandensein eines elektrischen Stroms nachzuweisen, bedient man sich der Voltaskope und Galvanoskope (siehe Erkl. 249). Als solche können auch die im vorigen Abschnitt beschriebenen Voltameter und Galvanometer verwendet werden.

Für den Nachweis schwacher elektrischer Ströme, welche auf die im vorigen Abschnitt beschriebenen Rheometer keine wahrnehmbare Wirkung ausüben, wendet man die stromempfindlicheren Multiplikatoren (siehe Erkl. 250) oder besondere Voltaskope an.

Erkl. 249. Voltaskope und Galvanoskope (vom griech. σκοπεῖν = beschauen) sind nach nebenstehender Antwort Instrumente zur Erkennung elektrischer Ströme.

Erkl. 250. Multiplikator (vom latein. multiplicare = vervielfältigen) heisst Vervielfältiger (nämlich der Wirkung eines elektrischen Stroms, siehe Antw. auf Frage 176).

Frage 175. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch eines einfachen Galvanoskops zum Nachweis stärkerer Ströme?

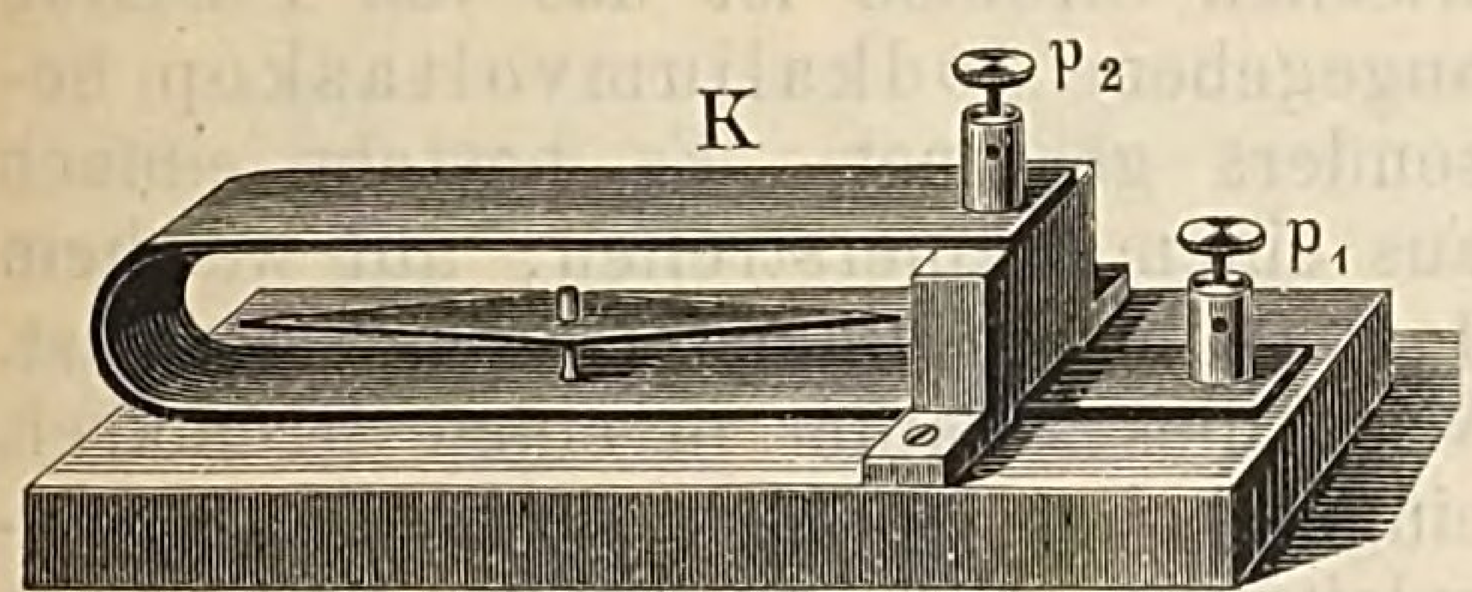
Antwort. Eines der gebräuchlichsten und einfachsten Galvanoskope, mit welchem stärkere Ströme nachgewiesen

werden, besitzt folgende Einrichtung (siehe Erkl. 251):

Auf einem Holzbrett ist ein ⊂förmig gebogenes Kupferblech K, siehe Figur 115, befestigt, welches auf den durch einen Holzklotz H von einander isolierten Enden je eine Klemmschraube p_1 und p_2 trägt. Auf der Mitte des unteren Schenkels dieses Kupferstreifens ist eine Stahlspitze aufgesetzt, und auf dieser hängt im Schwerpunkt frei schwebend eine Magnetnadel. Beim Gebrauch wird das Instrument so gestellt, dass die Magnetnadel in der Längsrichtung des Kupferstreifens K steht und wird durch Vermittlung der beiden Klemmschrauben in den zu prüfenden Stromkreis eingeschaltet. Ist die Intensität des Stroms gross genug, so wird die Magnetnadel aus ihrer natürlichen Nord-Süd-Richtung abgelenkt.

Erkl. 251. Aus der grossen Zahl der gebräuchlichen Galvanoskope ist in nebenstehender Antwort nur eines der bekanntesten beschrieben. Andre Konstruktionen findet man in dem Lehrbuch des Elektromagnetismus.

Figur 115.

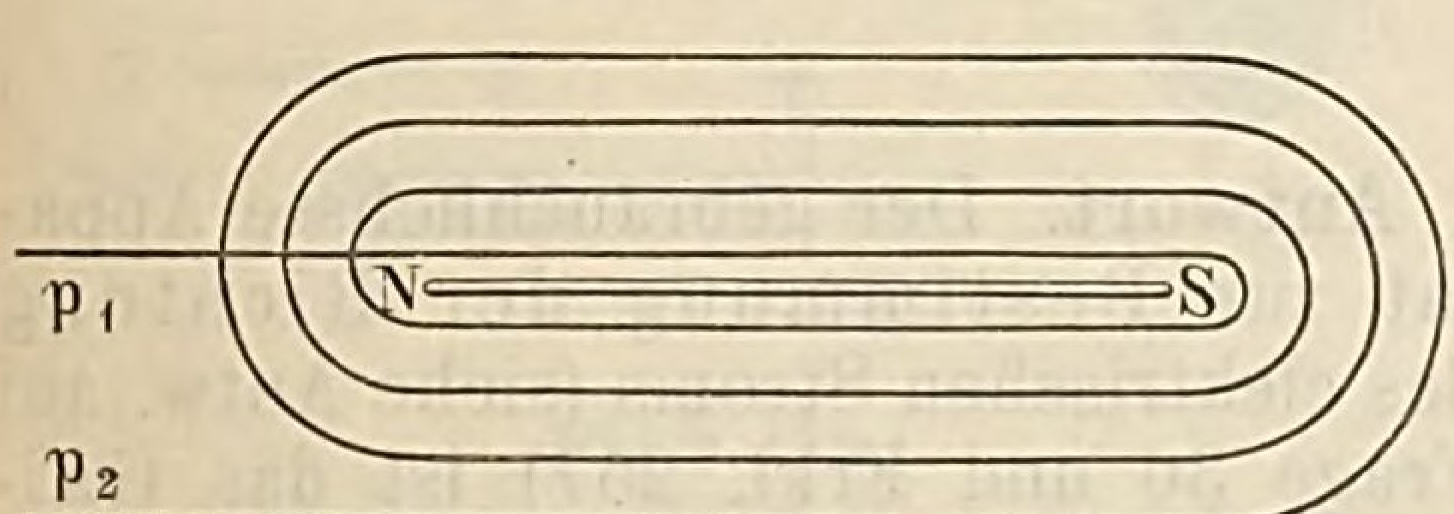


Frage 176. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch der Multiplikatoren im allgemeinen?

Antwort. Die Einrichtung der Multiplikatoren im allgemeinen ist im Prinzip die gleiche wie die der gewöhnlichen Galvanoskope (siehe vorige Antwort), nur mit dem Unterschied, dass der elektrische Strom in vielen Windungen um die Magnetnadel herumgeführt wird. Im Gebrauch unterscheiden sie sich nicht von den Galvanoskopen (siehe Erkl. 252).

In der schematischen Figur 116 ist NS die Magnetnadel, $p_1\ p_2$ die in vielen Windungen um dieselbe herumgeführte Stromleitung (siehe Erkl. 253). Der Draht, aus welchem diese Stromleitung besteht, ist mit Baumwolle oder besser mit Seide absolut dicht umsponnen, damit die Stellen, welche sich berühren, vollkommen von einander isoliert sind (siehe Erkl. 254).

Figur 116.



Erkl. 252. Die Konstruktion der Multiplikatoren (siehe nebenstehende Antwort und Erkl. 254) beruht darauf, dass ein und derselbe elektrische Strom um so stärker ablenkend auf eine Magnetnadel wirkt, je öfter er um dieselbe herumgeführt wird (siehe Erkl. 253).

Erkl. 253. Die Beschreibung der Einrichtung der verschiedenen Multiplikatoren findet man in dem Lehrbuch des Elektromagnetismus dieses Werkes.

Erkl. 254. In der schematischen Figur 116 sind die Windungen des Multiplikators der Deutlichkeit wegen getrennt gezeichnet. In Wirklichkeit liegen sie dicht aufeinander und müssen daher isoliert sein (siehe nebenstehende Antwort und vorige Erklärung).

Frage 177. Was versteht man unter einem Voltaskop und worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Jodkaliumvoltaskops?

Antwort. Unter einem Voltaskop versteht man einen Apparat, in welchem der Nachweis eines elektrischen Stroms durch seine chemischen Wirkungen erbracht wird (siehe Erkl. 255).

Zur Messung von sehr schwachen elektrischen Strömen ist das von *Faraday* angegebene Jodkaliumvoltaskop besonders geeignet. Es besteht einfach aus einem Papierstreifen, auf welchem Jodkaliumstärkekleister aufgetragen ist. Wird dieses Papier in einen Stromkreis eingeschoben, so dass die beiden Stromzuleitungen sich auf beiden Seiten des Papiers gegenüberstehen und beide das Papier berühren, so entsteht auf dem Papier, selbst bei sehr schwachem Strom, ein blauer Fleck (siehe Erkl. 256).

Erkl. 255. Die im 5. Abschnitt beschriebenen Voltameter können wohl als Voltaskope benutzt werden, jedoch sind die bequemeren und empfindlicheren Galvanoskope (siehe Antwort auf Frage 175 und Erkl. 248) denselben vorzuziehen (siehe Erkl. 260).

Erkl. 256. Jod erzeugt auf Stärkekleister einen blauen Fleck. Wird daher, wie in voriger Erklärung beschrieben, das Jodkalium des Jodkaliumstärkekleisterpapiers durch die Einwirkung des elektrischen Stroms zersetzt, so färbt sich das Papier blau. Ausführliches darüber findet man in den Lehrbüchern der Chemie dieses Gesamtwerkes.

7). Ueber die Bestimmung der Richtung des elektrischen Stroms.

Frage 178. Welches ist der gebräuchlichste Apparat zur Bestimmung der Richtung des elektrischen Stroms und in welcher Weise wird diese Bestimmung ausgeführt?

Antwort. Der gebräuchlichste Apparat zur Bestimmung der Richtung des elektrischen Stroms (siehe Antw. auf Frage 36 und Erkl. 257) ist das Galvanoskop (siehe Antw. auf Frage 175).

Die Wirkungsweise des Galvanoskops beruht auf folgendem:

Wird das Galvanoskop (siehe Figur 115) oder die Tangentenbussole (siehe Figur 113) so gerichtet, dass die durch den alleinigen Einfluss des Erdmagnetismus bedingte Nord-Süd-Richtung der Magnetnadel in die Ebene der Stromleitung (d. i. die Ebene des Kupferstreifens des Galvanoskops, bezw. des Kupferrings des Galvanometers) fällt, und schaltet man nun das so gerichtete Instrument in den Kreis des Stroms ein, dessen Richtung bestimmt werden soll, so wird der Südpol der Nadel (siehe Erkl. 228) nach derjenigen Seite hin aus der Ebene der Stromleitung abgelenkt,

Erkl. 257. Die Bestimmung der Richtung eines elektrischen Stroms durch das Galvanoskop findet bei geschlossenem Stromkreis statt (siehe Erkl. 258).

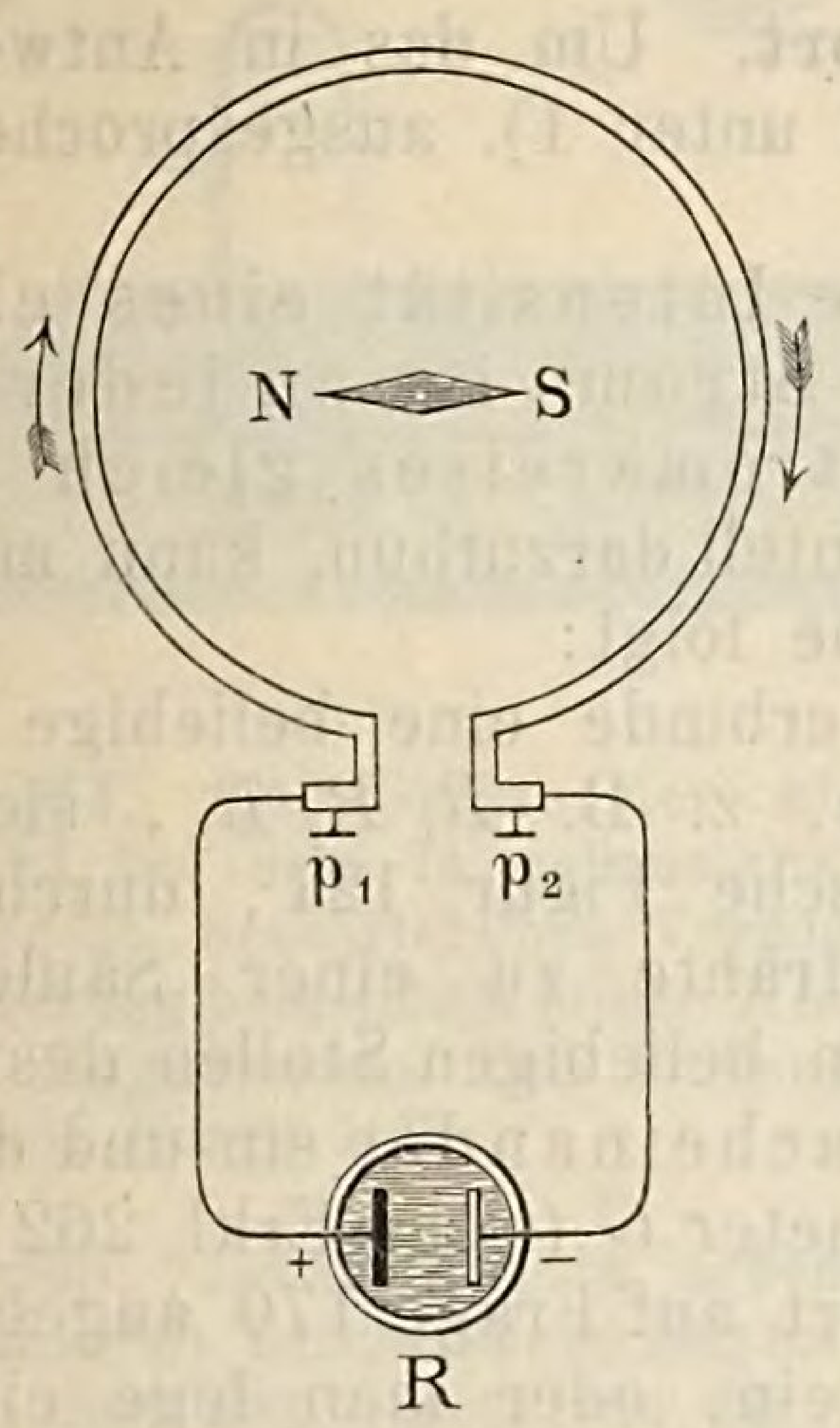
Erkl. 258. Die Richtung des elektrischen Stroms kann auch bei offenem Stromkreis bestimmt werden. Ausführliches darüber findet man in den Antworten auf die Fragen 26 und 36).

Erkl. 259. Die in nebenstehender Antwort erörterte Regel bildet einen Teil des Gesetzes über die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom (siehe die Erkl. 260 und 261).

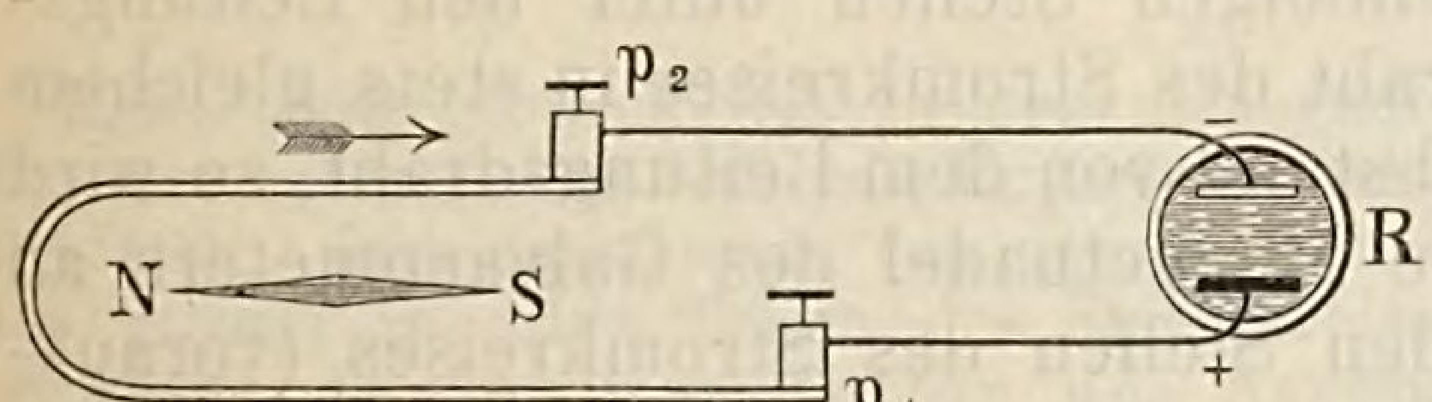
Erkl. 260. Die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom wurde 1820 von *Oerstedt* (siehe Erkl. 108) beobachtet und bekannt gemacht, nachdem sie bereits 1802 von *Romagnosi* entdeckt worden war.

Erkl. 261. Ausführliches über das der Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom zu Grunde liegende Gesetz findet man in dem Lehrbuch des Elektromagnetismus dieses Werkes.

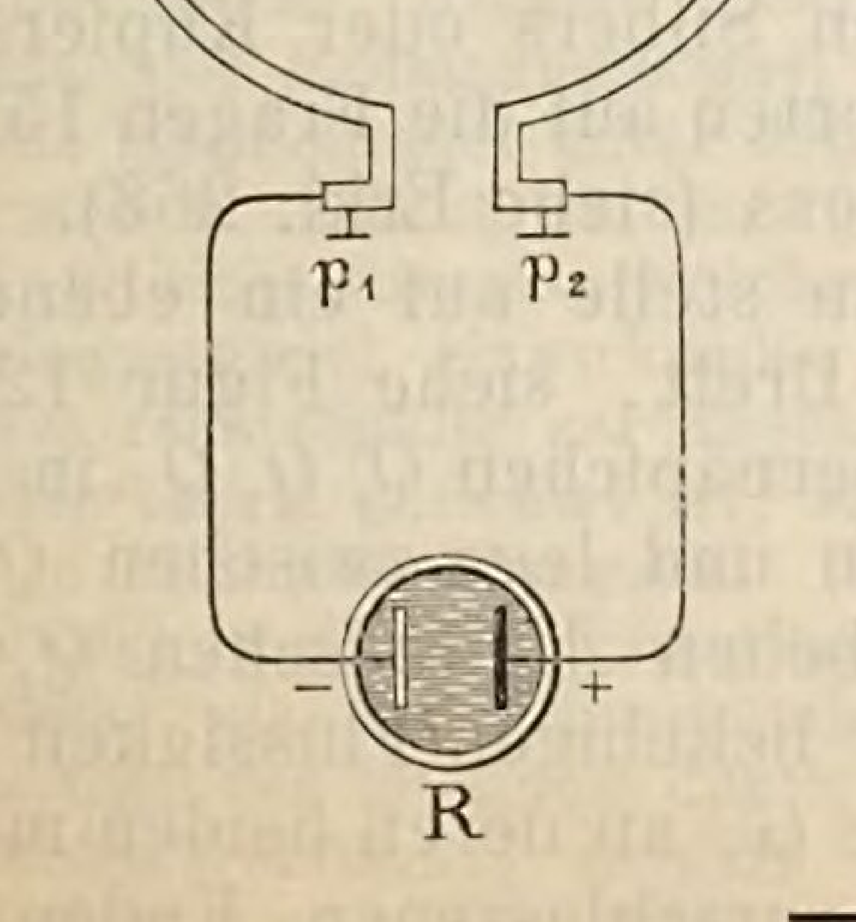
Figur 117.



Figur 118.



Figur 119.



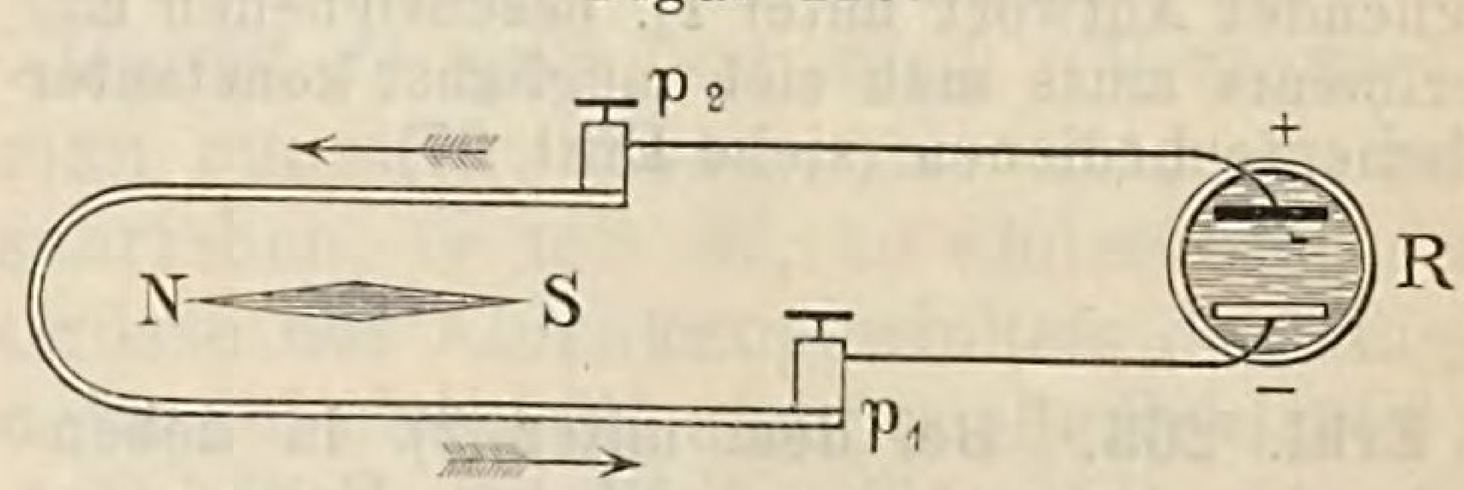
von welcher aus gesehen der elektrische Strom in der gleichen Richtung kreist, in welcher sich die Zeiger einer Uhr bewegen (siehe Erkl 259).

Um also die Richtung eines elektrischen Stroms zu bestimmen, stelle man das Galvanoskop oder die Tangentenbussole in die Ebene des magnetischen Meridians ein (siehe Erkl. 240), verbinde die Klemmschrauben des Apparats beliebig mit den Zuleitungsdrähten des zu untersuchenden Stromkreises und trete auf diejenige Seite des Apparats, nach welcher der Südpol abgelenkt wird, so zirkuliert der Strom, von dieser Seite aus betrachtet, in der Richtung der Zeiger einer Uhr.

Wird z. B. bei der in Figur 117 schematisch dargestellten Tangentenbussole, oder bei dem in Figur 118 schematisch dargestellten Galvanoskop, p_1 mit dem positiven, p_2 mit dem negativen Pol eines Rheomotors R verbunden, so dass der Strom in der durch den Pfeil bezeichneten Richtung (d. i. von vorne gesehen die Bewegungsrichtung eines Uhrzeigers) die Magnetnadel NS umkreist, so wird die Nadel so abgelenkt, dass sich der Südpol S derselben dem Beschauer nähert, der Nordpol N sich von dem Beschauer entfernt.

Wird dagegen p_2, siehe die Figuren 119 und 120, mit dem positiven, p_1 mit dem negativen Pol eines Rheomotors R verbunden, so dass der Strom, von vorne gesehen, entgegengesetzt der Bewegungsrichtung eines Uhrzeigers die Magnetnadel umkreist, so erfolgt die Ablenkung der Magnetnadel NS in entgegengesetzter Richtung, so dass also der Nordpol N derselben sich dem Beschauer nähert, der Südpol S dagegen sich von dem Beschauer entfernt.

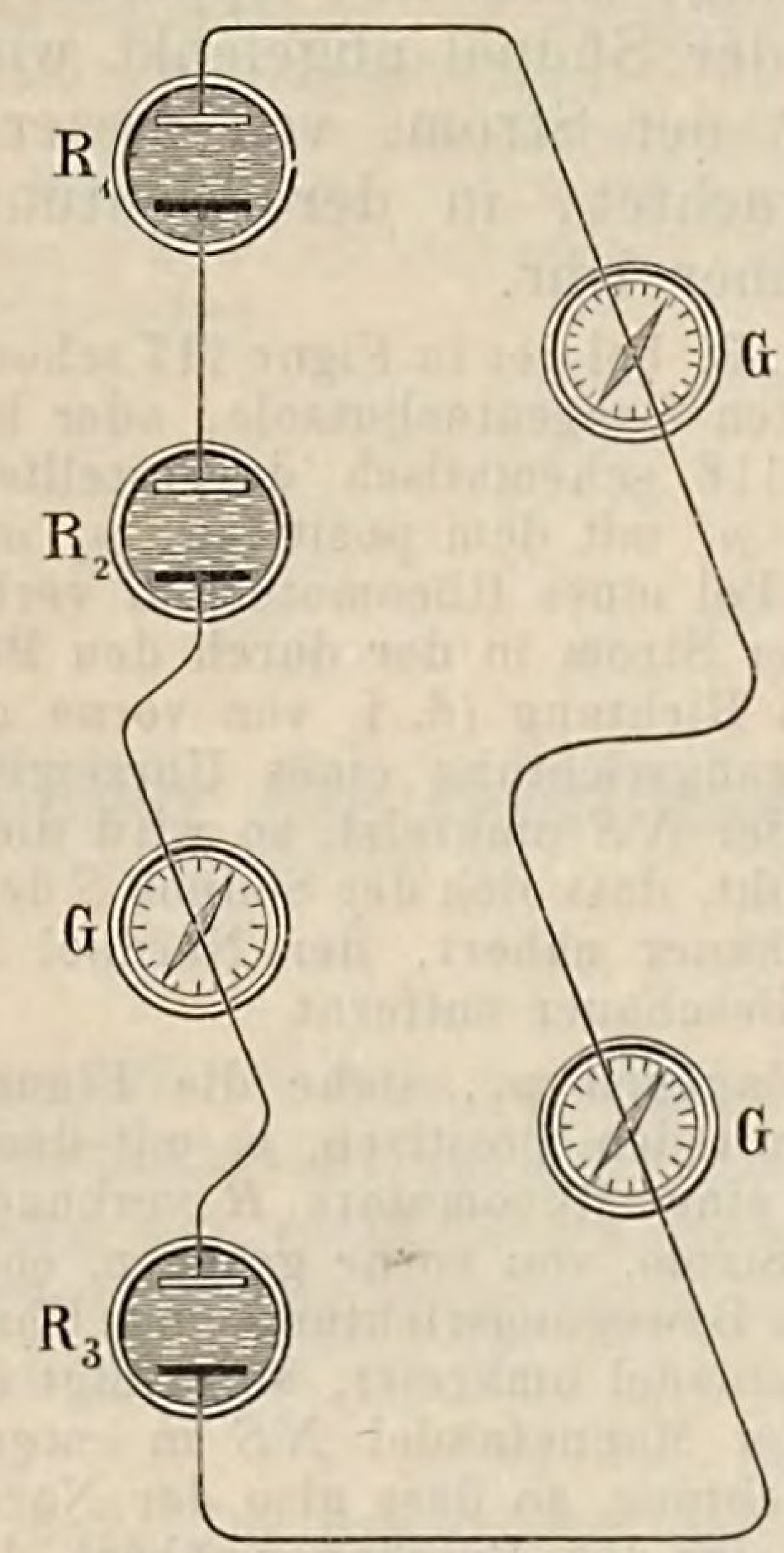
Figur 120.



8). Ueber die experimentellen Beweise der Stromgesetze.

Frage 179. Wie kann man das in Antwort auf Frage 38 unter 1). definierte Gesetz: „Die Intensität des elektrischen Stroms ist an jeder Stelle des Stromkreises gleich gross“, experimentell bestätigen?

Figur 121.



Erkl. 262. Zur Ausführung des in nebenstehender Antwort unter 1). beschriebenen Experiments muss man sich möglichst konstanter Elemente bedienen (siehe Erkl. 97).

Erkl. 263. Bei dem unter 2). in nebenstehender Antwort beschriebenen Experiment kann man sich jeder beliebigen Säule bedienen, einerlei ob dieselbe konstant ist oder nicht (siehe vorige Erkl. und Erkl. 97), weil eine Abnahme der Stromstärke oder auch eine Schwankung derselben während der Dauer des Versuchs in allen eingeschalteten Voltametern gleichmässig zur Geltung kommt, d. h. also, weil das in nebenstehender Antwort bezeichnete Gesetz für alle Stromstärken gilt.

Antwort. Um das in Antwort auf Frage 38 unter 1). ausgesprochene Gesetz:

„Die Intensität eines elektrischen Stroms ist an jeder Stelle des Stromkreises gleich gross“

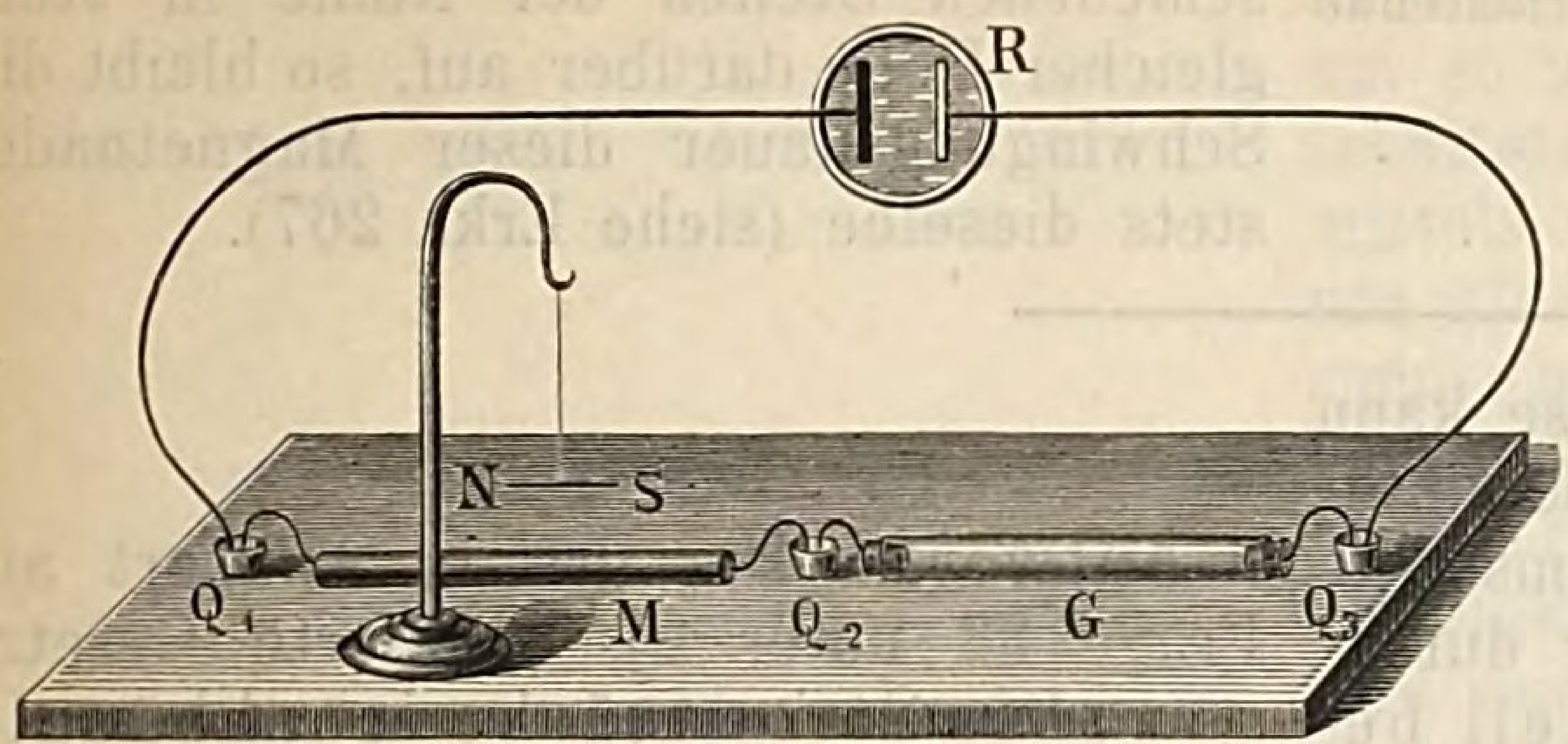
experimentell darzuthun, kann man verfahren wie folgt:

Man verbinde eine beliebige Anzahl Elemente, z. B. R_1 R_2 R_3, siehe die schematische Figur 121, durch lange Leitungsdrähte zu einer Säule, und schalte an beliebigen Stellen des Stromkreises nacheinander ein und dasselbe Galvanometer G (siehe Erkl. 262) in der in Antwort auf Frage 170 angegebenen Stellung ein, oder man lege eine einfache Bussole [siehe Antw. auf Frage 169 unter 1).] nacheinander an verschiedenen beliebigen Stellen unter den Leitungsdraht des Stromkreises in stets gleichem Abstand von dem Leitungsdraht, so wird die Magnetnadel des Galvanometers an allen Stellen des Stromkreises (vorausgesetzt, dass der elektrische Strom während der Versuchsdauer gleiche Intensität behielt — konstant blieb) gleich stark abgelenkt (siehe Erkl. 262).

2). Man schalte in den unter 1). bezeichneten und in Figur 121 schematisch dargestellten Stromkreis an beliebigen Stellen gleichzeitig Voltameter ein, so ist die Menge des während einer beliebigen Zeit in jedem dieser Voltameter zersetzten Wassers (bezw. abgeschiedenen Silbers oder Kupfers, siehe die Antworten auf die Fragen 157—166) gleich gross (siehe Erkl. 263).

3). Man stelle auf ein ebenes horizontales Brett, siehe Figur 122, drei Quecksilbernäpfchen Q_1 Q_2 Q_3 in gleichen Abständen und lege zwischen Q_1 Q_2 ein Metallstäbchen M, zwischen Q_2 Q_3 eine mit einer beliebigen Flüssigkeit gefüllte Glasröhre G, an deren beiden mit Korkstöpseln verschlossenen Enden Drähte

Figur 122.



Erkl. 264. Die Grösse der Ablenkungswinkel wird bei dem in nebenstehender Antwort unter 3). beschriebenen Versuch mittels Spiegelablesung beobachtet (siehe *Kleyers* Lehrbuch des Magnetismus und Erdmagnetismus, Antwort auf Frage 108).

Erkl. 265. Durch das in nebenstehender Antwort unter 3). beschriebene Experiment wird bewiesen, dass das Gesetz von der Gleichheit des Stroms in allen Teilen des Stromkreises auch für solche Teile der Stromleitung gilt, welche aus Flüssigkeiten bestehen.

Erkl. 266. Durch das in nebenstehender Antwort unter 4). beschriebene Experiment wird bewiesen, dass das Gesetz von der Gleichheit des Stroms in allen Teilen des Stromkreises auch von denjenigen Teilen des Stromkreises gilt, welche durch den Stromerreger (Rheomotor) selbst gebildet werden.

Erkl. 267. Die in nebenstehender Antwort unter 5). erwähnte Erscheinung beruht auf folgendem:

Bei jeder Magnetnadel, welche frei schwebend unter dem alleinigen Einfluss des Erdmagnetismus in horizontaler Richtung hin- und herschwingt, ist die Schwingungsdauer, d. h. die Zeit, welche sie zu einem Hin- und Hergang braucht, von der Intensität des Erdmagnetismus (siehe *Kleyers* Lehrbuch des Magnetismus und Erdmagnetismus) abhängig. Schwingt die Magnetnadel unter dem ferneren Einfluss eines senkrecht zu ihr gerichteten Stroms, d. h. eines Stroms, welcher an dem auf die Magnetnadel einwirkenden Teil des Stromkreises rechtwinklig zur Ebene des magnetischen Meridians gerichtet ist, so wird, da der Strom in dieser Richtungslinie (in der Ost-West-Richtung) in gleichem Sinne auf die Magnetnadel wirkt wie der Erdmagnetismus, die richtende Kraft des letzteren durch den elektrischen Strom verstärkt, es wird somit die Schwingungsdauer der Magnetnadel verkürzt,

in das Innere ragen, und verbinde *M* mit den Näpfchen Q_1 und Q_2, *G* mit Q_2 und Q_3. Ueber *M* hänge man an einem Stativ eine Magnetnadel auf und richte das Ganze derart, dass die Richtungslinie von Q_1 Q_2 Q_3 in die Ebene des magnetischen Meridians fällt (siehe Erkl. 240). Man verbinde *M* und *G* durch Vermittlung der Quecksilbernäpfe mit dem galvanischen Element *R*, so wird die Magnetnadel abgelenkt. Alsdann bringe man *G* an den Platz von *M*, *M* an den Platz von *G*, so dass nunmehr die Magnetnadel über der Flüssigkeit von *G* sich befindet. Die Ablenkung, welche die Magnetnadel nunmehr erfährt, ist die gleiche (siehe die Erkl. 264 und 265).

4). Man teile das Innere der Glasröhre *G*, siehe Figur 122, durch ein Scheibchen von porösem Thon, fülle die eine Abteilung der Röhre mit Kupfervitriol, die andre mit verdünnter Schwefelsäure, befestige an dem durch den Kork in die erste Abteilung reichenden Draht eine kleine Kupferplatte, an dem in die letztere Abteilung reichenden Draht eine kleine amalgamierte Zinkplatte. Die so als Daniell-Element (siehe Antw. auf Frage 88) eingerichtete Röhre lege man in der unter 3). bezeichneten Weise zwischen Q_2 und Q_3, nehme das Element *R* aus dem Stromkreis, verbinde Q_3 durch einen Draht direkt mit Q_1, so dass also der nun in dem Stromkreis zirkulierende Strom allein von dem Element *G* geliefert wird. Vertauscht man nunmehr wieder, wie unter 3). beschrieben, *G* mit *M*, so ändert sich die Grösse des Ablenkungswinkels der Magnetnadel ebenfalls nicht (siehe Erkl. 266).

5). Eine geradlinige Rinne, welche in ein Brett eingeschnitten ist, fülle man teils mit Metallstreifen von verschiedener Breite und verschiedenen Metallen, teils mit Quecksilber, schalte diese verschiedenartig zusammengesetze Leitung in den Stromkreis eines Rheomotors und stelle das Brett derart, dass die Rinne

d. h. die Nadel schwingt schneller, sie macht in einer bestimmten Zeit eine grössere Zahl von Schwingungen, und zwar wird sie um so schneller schwingen, je grösser die Intensität des elektrischen Stroms ist, welcher die richtende Kraft des Erdmagnetismus verstärkt.

rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht (siehe Erkl. 240). Nun hänge man ein und dieselbe Magnetnadel über verschiedenen Stellen der Rinne in stets gleicher Höhe darüber auf, so bleibt die Schwingungsdauer dieser Magnetnadel stets dieselbe (siehe Erkl. 267).

Frage 180. Auf welche Weise kann man das in Antwort auf Frage 38 unter 2). definierte Gesetz: „Die Stromstärke ist abhängig von der Natur der durchflossenen Leiter“, experimentell bestätigen?

Antwort. Um das in Antwort auf Frage 38 unter 2). definierte Gesetz:

„Die Stromstärke ist abhängig von der Natur der durchflossenen Leiter,“ d. h. „die Stromstärke ist abhängig von dem Widerstand der durchflossenen Leiter“ (siehe Erkl. 91)

experimentell darzuthun, kann man verfahren wie folgt:

1). Man schalte z. B. in den Stromkreis eines Rheomotors ein Galvanometer und einen Kupferdraht von bestimmter Länge und bestimmtem Querschnitt ein, und bemerke die Grösse des Ablenkungswinkels (siehe Erkl. 231). Alsdann vertausche man den Kupferdraht beispielsweise mit einem Neusilberdraht von gleicher Länge und gleichem Querschnitt, so ist nunmehr der Ablenkungswinkel ein kleinerer (siehe Erkl. 268).

2). Man schalte in den Stromkreis eines Rheomotors ein Galvanometer und eine mit einer Flüssigkeit gefüllte Glasröhre G, siehe Figur 122, ein. Auch hier wird der Ablenkungswinkel ein verschiedener sein, je nach der Art der in der Glasröhre G enthaltenen Flüssigkeit.

Erkl. 268. Aus dem in nebenstehender Antwort unter 1). beschriebenen Experiment geht hervor, dass das Neusilber dem elektrischen Strom einen grösseren Widerstand entgegensetzt als das Kupfer, vorausgesetzt, dass der aus beiden Metallen gebildete Leiter den gleichen Querschnitt und die gleiche Länge hat.

Frage 181. Auf welche Weise kann man das in Antwort auf Frage 38 unter 3). definierte Gesetz: „Die Stromstärke ist um so kleiner, je länger der von dem Strom durchflossene Leiter ist“, experimentell bestätigen?

Antwort. Um das in Antwort auf Frage 38 unter 3). definierte Gesetz:

„Die Stromstärke ist um so kleiner, je länger der von dem Strom durchflossene Leiter ist; sie ist um so grösser, je kürzer dieser Leiter ist“

experimentell zu beweisen, schalte man nacheinander Drähte von demselben Metall und gleichem Querschnitt,

aber von verschiedener Länge in einen ein Galvanometer enthaltenden Stromkreis ein, so findet man, dass der Ablenkungswinkel der Galvanometernadel um so grösser ist, je kürzer der eingeschaltete Draht ist. Nun schalte man mittels Glasröhren G, siehe Figur 122, von gleichem Durchmesser (also gleichem Querschnitt) und verschiedener Länge, welche mit ein und derselben Flüssigkeit gefüllt sind, diese Flüssigkeitssäule in einen Stromkreis, so wird auch hierbei der Ablenkungswinkel um so kleiner, je länger die eingeschaltete Flüssigkeitssäule ist.

Frage 182. Wie kann man das in Antwort auf Frage 38 unter 4). definierte Gesetz: „Die Stromstärke ist um so kleiner, je kleiner der Querschnitt des von dem Strom durchflossenen Leiters ist“, experimentell bestätigen?

Antwort. Um das in Antwort auf Frage 38 unter 4). definierte Gesetz:

„Die Stromstärke ist um so kleiner, je kleiner der Querschnitt des von dem Strom durchflossenen Leiters, sie ist um so grösser, je grösser dieser Querschnitt ist“

experimentell zu beweisen, kann man wie folgt verfahren:

1). Man schalte nacheinander Drähte aus gleichem Metall oder auch Schichten von derselben Flüssigkeit (siehe vorige Antwort), in beiden Fällen von gleicher Länge aber verschiedenem Querschnitt, gleichzeitig mit einem Galvanometer in einen Stromkreis ein, so ist der Ablenkungswinkel der Galvanometernadel um so kleiner, je kleiner der Querschnitt des eingeschalteten festen oder flüssigen Leiters ist.

2). Man schalte in den Stromkreis eines galvanischen Elements ein Galvanometer, bemerke den Ablenkungswinkel und hebe alsdann die Elektroden teilweise aus der Flüssigkeit, oder man giesse einen Teil der Flüssigkeit des Elements ab, so dass also der Querschnitt der Flüssigkeit, welche der elektrische Strom im Innern des Elements durchfliesst, ein kleinerer wird, so findet man, dass der Ablenkungswinkel

Erkl. 269. Nach Antwort auf Frage 18 ist die elektromotorische Kraft einzig und allein abhängig von der Natur der sich berührenden Körper. Die elektromotorische Kraft bleibt unveränderlich gleich gross, einerlei ob die Berührungsfläche der Flüssigkeit eines galvanischen Elements mit dessen Elektroden vergrössert oder verringert wird, wie dies bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Experiment geschieht.

Die elektromotorische Kraft eines galvanischen Elements ist also von der Gestalt und Grösse der stromerregenden Elektroden unabhängig.

um so kleiner wird, je mehr man auf diese Weise den Querschnitt der Elementflüssigkeit verringert (siehe Erkl. 269).

Das hier definierte Gesetz gilt also auch für das Innere des stromerregenden Teils (des Rheomotors) des Stromkreises.

Frage 183. Wie kann man das in Antwort auf Frage 38 unter 5). definierte Gesetz: „Die Stromstärke ist um so grösser, je grösser die elektromotorische Kraft ist", experimentell bestätigen?

Erkl. 270. Bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Experiment ist folgendes zu beachten:

Wenn in dem Trog, siehe Figur 34, nur die beiden Endplatten K und Z stehen, so ist die Länge und der Querschnitt der Flüssigkeitsschicht (der Flüssigkeitssäule), welche der elektrische Strom im Innern des Rheomotors durchfliesst, ebenso gross, als wenn eine oder mehrere Doppelplatten eingepasst werden; der äussere Teil des Stromkreises bleibt ebenfalls ungeändert. Nach den Antworten auf die Fragen 17 und 27 kann demnach die Veränderung der Stromstärke bei der Aenderung der Anzahl der Platten nur durch die Veränderung der elektromotorischen Kraft bedingt sein (siehe Erkl. 271).

Erkl. 271. Dass die elektromotorische Kraft mit der Anzahl der Elemente zunimmt, geht aus den Antworten auf die Fragen 17 und 27 bis 29 hervor.

Antwort. Um das in Antwort auf Frage 38 unter 5). definierte Gesetz:

„Die Stromstärke ist um so grösser, je grösser die elektromotorische Kraft des Rheomotors ist, sie ist um so kleiner, je kleiner die elektromotorische Kraft ist"

experimentell darzuthun, kann man verfahren wie folgt:

Man entferne aus einem Cruikshankschen Trogapparat (siehe Antwort auf Frage 48 und Figur 34) die Doppelplatten, so dass nur die beiden Endplatten K und Z in dem Trog stehen, fülle letzteren mit verdünnter Säure und bemerke die Ablenkung der Magnetnadel eines in den Stromkreis dieses Rheomotors eingeschalteten Galvanometers. Alsdann setze man an einer beliebigen Stelle des Trogs eine der Doppelplatten ein, so wird die Magnetnadel stärker abgelenkt, und zwar nimmt die Grösse des Ablenkungswinkels bei weiterer Vermehrung der Platten weiterhin zu (siehe Erkl. 270).

Frage 184. Wie kann man die in Antwort auf Frage 38 unter 2). bis 5). definierten Gesetze zusammenfassen?

Erkl. 272. Wie im mathematischen Teil dieses Lehrbuches dargethan ist, führen die in den Antworten auf die Fragen 180 bis 183 beschriebenen Experimente, welche die in Antwort auf Frage 38 definierten, in nebenstehender Antwort zusammengefassten Stromgesetze beweisen, zu dem von *Ohm* (siehe Erkl. 273) entdeckten und nach ihm so genannten Ohmschen Gesetz:

Die Stromstärke ist proportional der Summe der elektromotorischen Kräfte

Antwort. Wie in Erkl. 91 erwähnt, setzen alle Körper dem elektrischen Strom bei seinem Durchgang durch dieselben einen gewissen Widerstand, den Leitungswiderstand entgegen. Nach Antwort auf Frage 38 unter 2). bis 5). ist dieser Leitungswiderstand abhängig:

1). von der Natur der durchflossenen Leiter (siehe Antwort auf Frage 180),

2). von der Länge der durchflossenen Leiter (siehe Antwort auf Frage 181),

und umgekehrt proportional dem Gesamtwiderstand im Stromkreise (siehe Erkl. 273).

Erkl. 273. Das in voriger Erklärung genannte und im mathematischen Teil dieses Lehrbuches erörterte Ohmsche Gesetz ist das wichtigste Gesetz für die Lehre von der Kontaktelektricität.

Erkl. 274. *Georg Friedrich Ohm*, geb. 16. März 1787 zu Erlangen, † 7. Juli 1854, entdeckte das nach ihm benannte Gesetz im Jahre 1826 als Gymnasialoberlehrer zu Köln. Derselbe war später Professor an der Universität zu München und ist durch seine Forschungen auf dem Gebiet der Elektricität und der Akustik bekannt.

3). von dem Querschnitt der durchflossenen Leiter (siehe Antw. auf Frage 182).

Somit ist die Stromstärke abhängig von dem Widerstande der durchflossenen Leiter, welche den Stromkreis bilden, und von den elektromotorischen Kräften, welche im Stromkreis thätig sind (siehe vorige Antwort), und zwar ist die Stromstärke um so kleiner, je grösser dieser Widerstand, sie ist um so grösser, je grösser die elektromotorischen Kräfte sind (siehe Erkl. 272).

9). Ueber den Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen).

A). Ueber die Leiter und Isolatoren des elektrischen Stroms.

Frage 185. Wie kann man die Körper in bezug auf ihre Fähigkeit, den elektrischen Strom fortzuleiten, einteilen?

Antwort. Man kann die Körper in bezug auf ihre Fähigkeit, den elektrischen Strom fortzuleiten, einteilen in gute Leiter und in schlechte Leiter (Isolatoren) (siehe Erkl. 17).

Frage 186. Welches sind die bekanntesten guten Leiter des elektrischen Stroms?

Antwort. Die bekanntesten guten Leiter des elektrischen Stroms, und zwar nach dem Grade der Leitungsfähigkeit, die besten Leiter voran, sind:

1). Metalle,
2). Legierungen,
3). Metallsuperoxyde,
4). Schwefelmetalle,
5). Kohle,
6). Säuren,
7). Salzlösungen,
8). gewöhnliches Wasser,
9). die Erde.

Frage 187. Welches sind die bekanntesten schlechten Leiter des elektrischen Stroms, welche als Isolatoren verwendet werden?

Antwort. Die bekanntesten schlechten Leiter des elektrischen Stroms, welche als Isolatoren verwendet werden, sind (siehe Erkl. 275):

1). Hartgummi (Ebonit),
2). Guttapercha,

Erkl. 275. Die guten, schlechten und Halbleiter der statischen Elektricität sind angegeben auf Seite 12 und 13 des Lehrbuches der Reibungselektricität dieses Werkes (siehe Erkl. 276).

Erkl. 276. Viele Körper, welche die Reibungselektricität leiten, können als Isolatoren des elektrischen Stroms verwendet werden, weil die Spannung der durch Reibung erregten Elektricität eine bedeutend höhere ist als die Spannung, welche bei der Elektricitätserregung durch Kontakt auftritt (siehe Antwort auf Frage 15).

3). Kautschuk,
4). Porzellan,
5). Glas,
6). Schellack,
7). Siegellack,
8). Seide,
9). Baumwolle,
10). trockenes Holz,
11). trockenes Papier,
12). Glimmer,
13). Marmor,
14). Serpentin etc.

Frage 188. Wie kann man die Leiter des elektrischen Stroms nach ihrem chemischen Verhalten beim Durchgang des Stroms einteilen?

Erkl. 277. Das Leitungsvermögen der meisten Leiter erster Klasse nimmt bei steigender Erwärmung ab, das Leitungsvermögen der Leiter zweiter Klasse nimmt bei steigender Erwärmung zu.

Antwort. Die Leiter des elektrischen Stroms kann man einteilen:

1). in solche Leiter, welche beim Durchgang des elektrischen Stroms keine chemische Veränderung erleiden: sog. Leiter erster Klasse (siehe Antwort auf Frage 13 und Erkl. 39);

2). in solche Leiter, welche durch den sie durchfliessenden Strom chemisch verändert (zersetzt) werden: sog. Leiter zweiter Klasse (siehe Erkl. 277).

Frage 189. Welches sind die bekanntesten Leiter erster Klasse?

Erkl. 278. Eine Legierung (z. B. Messing, Neusilber etc.) ist eine Verbindung von zwei oder mehr Metallen.

Antwort. Die bekanntesten Leiter erster Klasse sind:

1). die Metalle,
2). die Legierungen (siehe Erkl. 278),
3). Graphit,
4). Kohle,
5). einige Schwefelmetalle,
6). einige Superoxyde (Bleisuperoxyd, Mangansuperoxyd oder Braunstein).

Frage 190. Welches sind die bekanntesten Leiter zweiter Klasse?

Erkl. 279. Die Leiter zweiter Klasse werden auch Elektrolyte genannt.

Antwort. Die bekanntesten Leiter zweiter Klasse sind (siehe Erkl. 279):

1). erhitzte oder geschmolzene Salze,
2). einige stark erhitzte oder geschmolzene Schwefelmetalle,
3). in Wasser oder Alkohol gelöste Salze,
4). geschmolzenes Glas.

B). Ueber den Leitungswiderstand im allgemeinen.

Frage 191. Was versteht man unter dem Leitungswiderstand eines Körpers?

Antwort. Durchfliesst ein elektrischer Strom irgend einen Körper, so wird die Intensität des Stroms vermindert. Man nimmt daher an, dass alle Körper dem Durchgang des elektrischen Stroms einen Widerstand entgegensetzen, und bezeichnet diesen Widerstand als Leitungswiderstand.

Frage 192. Wovon ist der Leitungswiderstand eines Körpers abhängig?

Erkl. 280. Zu nebenstehender Antwort sei bemerkt, dass der Leitungswiderstand auch von verschiedenen äusseren Einflüssen abhängig ist.

Antwort. Der Leitungswiderstand eines Körpers ist abhängig:

1). von der Natur des Körpers,

2). von der Länge des Weges, welchen der elektrische Strom in dem Körper zurücklegt,

3). von dem Querschnitt des Körpers, d. h. von der Grösse der Schnittfigur, welche erhalten wird, wenn man den Körper senkrecht zur Richtung des Stroms durchschneidet (siehe Erkl. 280).

Frage 193. In welcher Weise kann nach voriger Antwort die Grösse des Leitungswiderstands eines und desselben Körpers verändert werden?

Antwort. 1). Der Leitungswiderstand eines und desselben Körpers wird vergrössert, wenn der Weg, welchen der elektrische Strom in diesem Körper zurücklegt, verlängert wird, und umgekehrt, er wird verkleinert, wenn dieser Weg verkürzt wird (siehe Antwort auf Frage 181).

2). Der Leitungswiderstand wird vergrössert, wenn der Querschnitt des Körpers verkleinert wird, er wird verringert, wenn dieser Querschnitt vergrössert wird (siehe Antw. auf Frage 182).

1. Beispiel. Ein Kupferdraht von 1 Meter Länge setzt einem ihn durchfliessenden elektrischen Strom einen geringeren Widerstand entgegen als ein gleich dicker Kupferdraht von beispielsweise 3 Meter Länge.

2. Beispiel. Ein 3 Millimeter dicker Kupferdraht setzt einem ihn durchfliessenden elektrischen Strom einen geringeren Widerstand entgegen als ein gleich langer Kupferdraht, welcher nur 1 Millimeter dick ist.

Frage 194. Ist der Leitungswiderstand abhängig von der Form des Querschnitts und von der Form des Körpers?

Antwort. Der Leitungswiderstand ist unabhängig von der Form des Körpers und von der Form des Querschnitts des Körpers.

1). So bleibt z. B. der Leitungswiderstand eines Drahts von einer bestimmten Länge und einem bestimmten Querschnitt der gleiche, einerlei ob dieser Draht gerade ausgestreckt oder in einer beliebigen Form gebogen ist.

2). Der Widerstand eines Drahts von einer bestimmten Länge bleibt derselbe, einerlei ob der Querschnitt rund ist oder irgend eine andre Form besitzt, vorausgesetzt, dass der Flächenraum der verschieden geformten Querschnitte derselbe ist.

Frage 195. Was versteht man unter dem spezifischen Leitungswiderstand, was unter dem spezifischen Leitungsvermögen eines Körpers?

Antwort. 1). Wie in Antwort auf Frage 192 bemerkt, ist der Leitungswiderstand eines Körpers durch die Natur dieses Körpers bedingt. Nimmt man den Leitungswiderstand eines bestimmten Körpers, z. B. des Eisens, als Einheit zur Vergleichung der Leitungswiderstände anderer Körper an, so nennt man die Zahl, welche angibt, wie viel mal grösser oder kleiner der Leitungswiderstand eines Körpers, dessen Länge und Querschnitt dem des Eisens gleich ist, den spezifischen Leitungswiderstand des Körpers in bezug auf den Leitungswiderstand des zur Vergleichung gewählten Körpers, also in diesem Falle des Eisens.

Bezeichnet man also z. B. den Leitungswiderstand eines Eisendrahts von einer bestimmten Länge und einem bestimmten Querschnitt mit 1, so ist der Leitungswiderstand eines Kupferdrahts von gleicher Länge und gleichem Querschnitt nach *Lenz* 0,18, der Leitungswiderstand eines Platindrahts von gleichen Dimensionen dagegen 1,27.

Die Zahl 0,18 drückt somit aus: „Ein Kupferdraht besitzt einen Leitungswiderstand, welcher 0,18 mal so gross ist als ein Eisendraht von gleichen Dimensionen, d. h. der spezifische Leitungswiderstand des Kupfers ist 5—6mal kleiner als der des Eisens. Ebenso ist der

Erkl. 281. Aus nebenstehender Antwort geht hervor, dass die Begriffe „Leitungswiderstand“ und „Leitungsvermögen“ reciproke Begriffe sind (siehe Erkl. 282). Man kann somit von einem Körper, welcher in bezug auf einen andern Körper ein grosses oder bedeutendes Leitungsvermögen besitzt, auch sagen: „Der Körper besitzt in bezug auf einen andern Körper einen kleinen oder geringen Leitungswiderstand“ und umgekehrt.

Erkl. 282. „Reciprok“ (vom latein. reciprocus) heisst „wechselseitig“.

spezifische Widerstand des Platins 1,27 mal grösser als der des Eisens.

2). Man kann dies auch folgendermassen ausdrücken: „Die spezifische Leitungsfähigkeit oder das Leitungsvermögen des Kupfers ist 5 bis 6 mal grösser als diejenige des Eisens, die spezifische Leitungsfähigkeit des Platins ist 1,27 mal kleiner, d. h. 0,8 mal so gross als die des Eisens (siehe die Erkl. 281 und 282).

C). Ueber die Rheostate und Widerstandsetalons.

Frage 196. Was versteht man unter einem Rheostat?

Antwort. Durch Ein- oder Ausschalten eines Teils des Widerstands im äusseren Teile des Stromkreises wird die Stromstärke des Rheomotors verringert bezw. vergrössert. Apparate, mittels welcher diese Veränderung der Stromstärke durch Vermehrung oder Verminderung des äusseren Widerstands eines Stromkreises bewirkt werden kann, nennt man Rheostate (siehe die Erkl. 283 bis 286).

Erkl. 283. Die Rheostate dienen zur Bestimmung des Leitungswiderstands. In welcher Weise sie hierzu verwendet werden, ist im mathematischen Teil dieses Lehrbuches dargethan.

Erkl. 284. Rheostat vom griech. ῥεῖν = fliessen und στατόσ = stehend.

Erkl. 285. Man nennt die Rheostate auch einfach Widerstände oder Stromregulatoren (siehe Erkl. 286).

Erkl. 286. Regulator vom spätlatein. regulare = berichtigen, in Ordnung bringen.

Frage 197. Welches sind die bekanntesten Rheostate?

Antwort. Die bekanntesten Rheostate sind die folgenden (siehe Erklärung 287):

1). Der einfache Drahtwiderstand (Kurbelrheostat) (siehe Antwort auf Frage 198),
2). der Walzenrheostat von *Wheatstone* (siehe Antw. auf Frage 199),
3). der Cylinderrheostat von *Jacobi* und *Wheatstone* (siehe Antwort auf Frage 200),
4). die Widerstandssäule von *Eisenlohr* (siehe Antwort auf Frage 201),
5). der Rheochord von *Poggendorff* (siehe Antwort auf Frage 202),
6). die Stöpselrheostate von *Siemens* (siehe Antwort auf Frage 203),
7). der Widerstandsetalon von *Siemens* (siehe Antwort auf Frage 204).

Erkl. 287. Es ist eine grosse Anzahl verschiedener Konstruktionen von Rheostaten angegeben worden. In nebenstehender Antwort sind nur einige von denjenigen Rheostaten angegeben, welche die gebräuchlichsten Konstruktionen vertreten und zwar die einfachsten derselben. Die Beschreibung von Rheostaten für technische Zwecke findet man in den betreffenden technischen Lehrbüchern dieses Werkes.

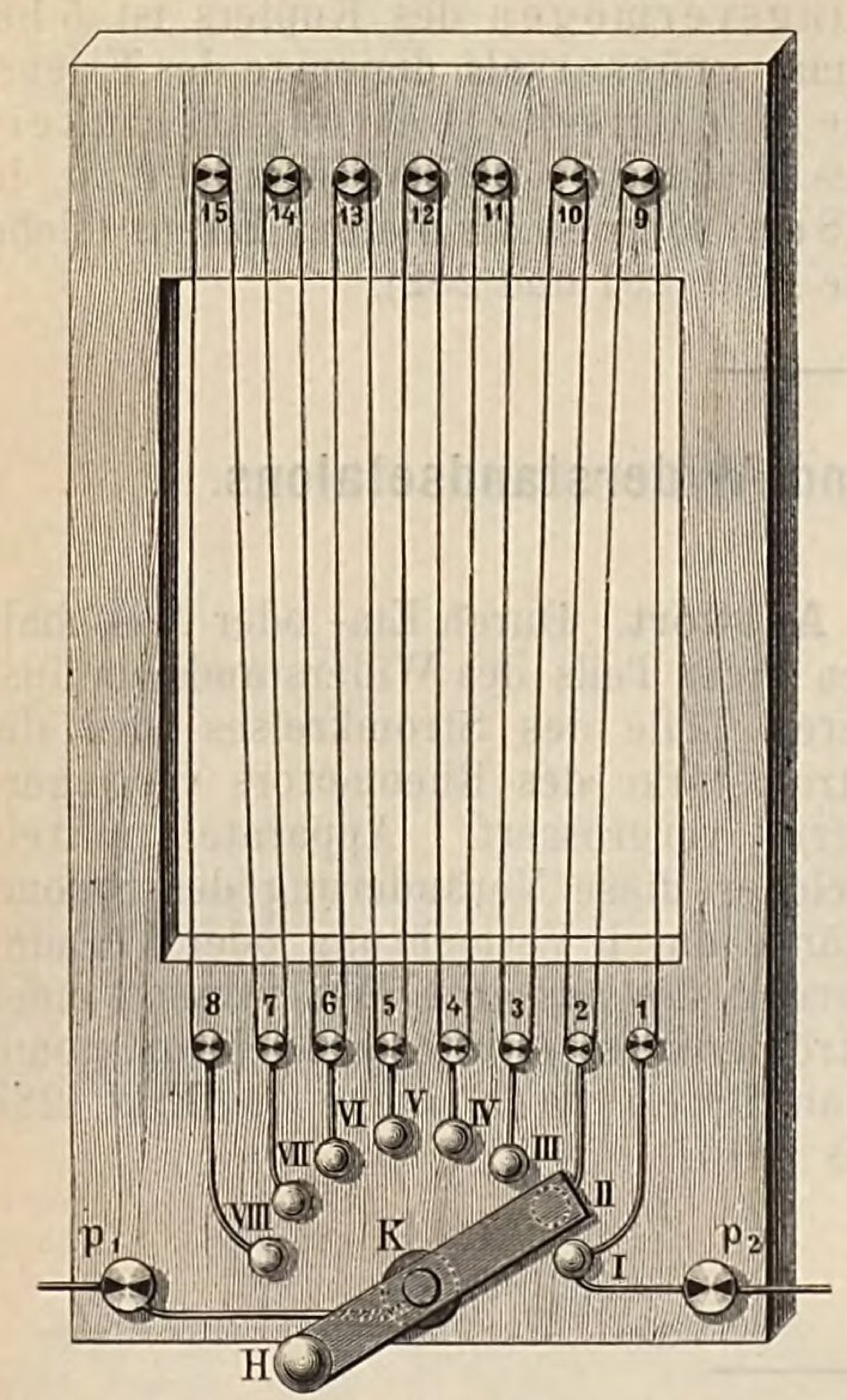
Frage 198. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Drahtwiderstands?

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch eines der bequemsten und häufig angewendeten Drahtwiderstände (des sog. Kurbelrheostats) besteht in folgendem (siehe Erkl. 288):

Auf einem Holzbrett oder besser Holzrahmen (siehe Erkl. 289) sind an Metallknöpfen 1—15, siehe Figur 123, eine, je nachdem man eines grösseren oder geringeren Widerstands bedarf, grössere oder geringere Anzahl von spiralförmigen (siehe Erklärung 292) oder gerade ausgestreckten Drähten aufgespannt, so dass das eine Ende eines jeden Drahts mit dem einen Ende des benachbarten Drahts durch einen der Metallknöpfe in leitender Verbindung steht. Die Knöpfe 1—8 stehen mit Metallknöpfen I—VIII durch starke Drähte in Verbindung. Letztere sind im Halbkreis aufgestellt und im Mittelpunkt dieses Halbkreises ist die metallene Achse der metallenen Kurbel K drehbar befestigt, so dass sie auf den Knöpfchen 1—8 schleift. Die Achse der Kurbel steht mit der Klemmschraube p_1, der Knopf 1 mit der Klemmschraube p_2 in leitender Verbindung. p_1 und p_2 werden mit den Polen eines Rheomotors verbunden.

Wird die Kurbel an dem hölzernen Handgriff H so gestellt, dass sie auf dem Knopf I schleift, so geht der elektrische Strom von dem Rheomotor nach p_1, K, I, p_2 nach dem Rheomotor. Es ist somit bei dieser Kurbelstellung der gesamte Draht des Rheostats ausgeschaltet. Stellt man die Kurbel auf II, wie dies in der Figur 123 dargestellt ist, so fliesst der Strom von p_1 nach K durch II, 2, 9, 1, I, p_2, so dass also bei dieser Kurbelstellung die Drähte 2—9 und 9—1 in den Stromkreis eingeschaltet sind. Durch Verschiebung der Kurbel auf die Knöpfe 2 bis 8 werden ebenso die andern Drähte der Reihe nach in den Stromkreis eingeschaltet. Man kann somit die Stromstärke des Rheomotors durch Einschalten einer entsprechenden Zahl von Drähten mehr oder weniger verringern (siehe Antwort auf Frage 196).

Figur 123.



Erkl. 288. Der in nebenstehender Antwort beschriebene Kurbelrheostat dient als Stromregulator (siehe Erkl. 285).

Erkl. 289. Wie in einem späteren Abschnitt gezeigt, erwärmen sich die von dem elektrischen Strom durchflossenen Leiter, und zwar um so mehr, je grösser der Leitungswiderstand derselben ist, bezw. je grösser die Intensität des elektrischen Stroms ist (siehe die Erkl. 290 und 291).

Erkl. 290. Bei verschiedenen Temperaturen ist der Widerstand der Leiter ein verschiedener. Bei den Metallen im allgemeinen nimmt er mit Erhöhung der Temperatur ab.

Erkl. 291. Die Ersetzung des Holzbretts des in nebenstehender Antwort beschriebenen Rheostats durch einen Holzrahmen erleichtert den allseitigen Zutritt der Luft und befördert daher die Abkühlung der durch den elektrischen Strom erwärmten Drähte.

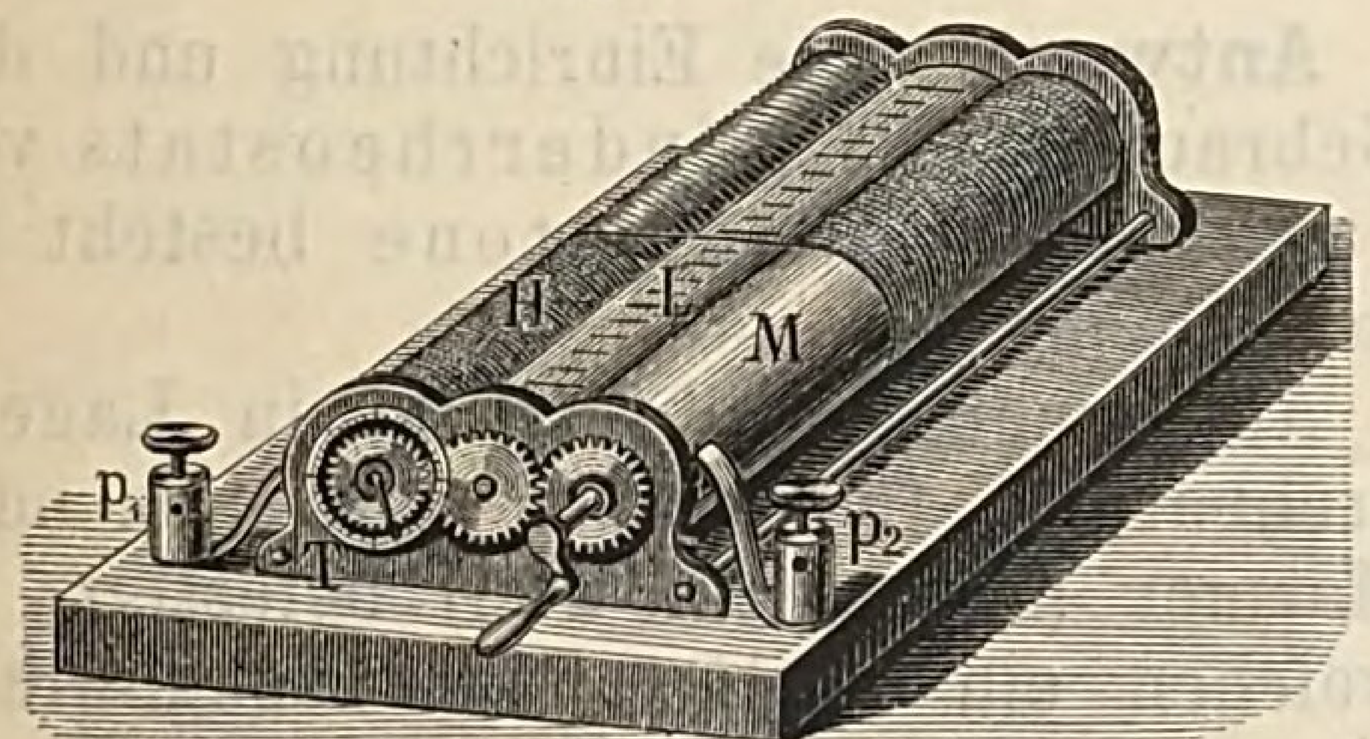
Erkl. 292. Bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Drahtwiderstand werden die Drähte meist spiralförmig verwendet, um auf einem kleinen Holzrahmen verhältnismässig lange Drähte aufspannen zu können.

Erkl. 293. Braucht man grosse Widerstände, so verwendet man bei den in nebenstehender Antwort beschriebenen Rheostaten Drähte von einem Metall (oder einer Legierung), welches ein geringes Leitungsvermögen hat, z. B. Eisen oder Neusilber. Sollen hingegen die zu verwendenden Widerstände klein sein, so wendet man Kupferdrähte an, weil Kupfer ein grosses Leitungsvermögen besitzt.

Das Ende der Kurbel, welches auf den Knöpfen schleift, muss so breit sein, dass dasselbe bei der Verschiebung stets den benachbarten Knopf schon früher berührt, als es den vorhergehenden verlässt, damit keine Stromunterbrechung stattfindet (siehe Erkl. 293).

Frage 199. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Walzenrheostats von Wheatstone?

Figur 124.



Erkl. 294. Der in nebenstehender Antwort beschriebene Rheostat besitzt den Uebelstand, dass bei der Drehung der Draht beständig hin- und hergebogen wird, und dass die Schleiffedern den Kontakt niemals ganz gleichmässig vermitteln.

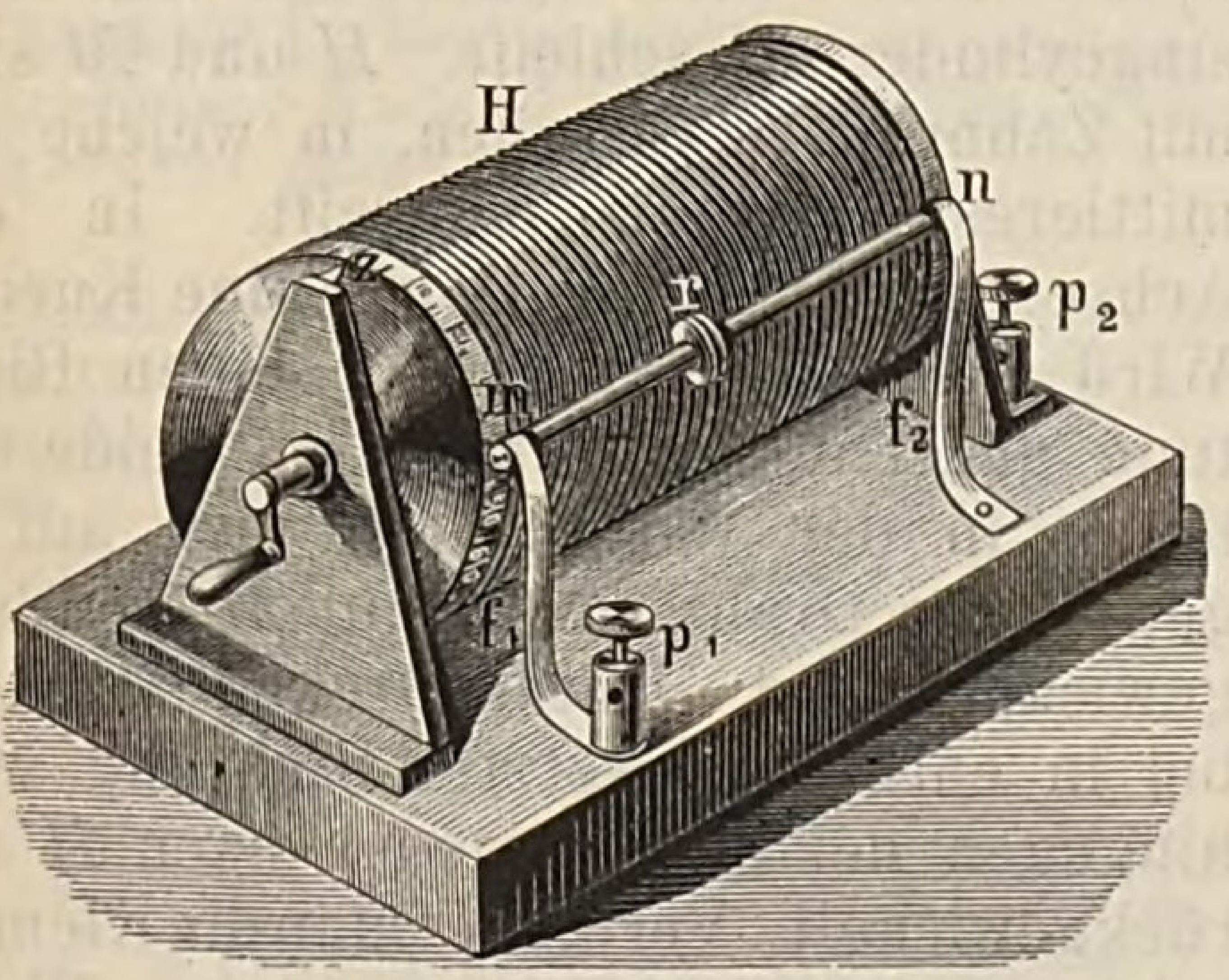
Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Walzenrheostats von Wheatstone besteht in folgendem:

Auf einem Holzbrett sind zwei parallel in Lagern drehbare Cylinder *M* und *H* befestigt. Der Cylinder *M* ist aus Messing, der Cylinder *H* aus Holz; in letzteren ist ein Schraubengewinde eingeschnitten, in welches ein Draht eingelegt ist. Der Draht ist mit dem einen Ende an eine an der vorderen Stirnwand von *H* befestigte Metallscheibe, mit dem andern Ende an der hinteren Stirnwand von *M* angelötet. Die Klemmschraube p_1 ist mit einer Feder verbunden, welche auf der erwähnten Metallscheibe schleift; die Klemmschraube p_2 mit einer Feder, welche auf dem Messingcylinder *M* schleift. *H* und *M* sind mit Zahnrädern versehen, in welche ein mittleres Zahnrad eingreift. In der Achse von *M* befindet sich eine Kurbel. Wird diese Kurbel in der einen Richtung gedreht, so drehen sich beide Cylinder in der Weise, dass der auf *H* gewickelte Draht von *H* auf *M* hinübergewickelt wird. Durch Drehen der Kurbel in entgegengesetzter Richtung wird hingegen der Draht wieder nach *H* zurückgewickelt. Verbindet man die Klemmschrauben p_1 und p_2 mit einem Rheomotor, so fliesst der Strom, je nach der Verbindung der Pole, durch p_1, die Metallscheibe, den Draht nach p_2 oder umgekehrt. Derjenige Teil des Drahts, welcher sich auf dem Holzcylinder *H* befindet, ist durch das Schraubengewinde,

in welchem er liegt, isoliert, so dass der elektrische Strom die ganze Länge dieses Teils des Drahts durchfliessen muss; derjenige Teil des Drahts dagegen, welcher sich auf dem Messingcylinder *M* befindet, wird von dem elektrischen Strom nicht durchflossen, da der Strom hier durch das Messing des Cylinders nach der Feder, welche darauf schleift, und von dieser nach p_2 geleitet wird. Je mehr Draht auf dem Holzcylinder sich befindet, um so grösser ist demnach der in den Stromkreis eingeschaltete Widerstand. Die Zahl der auf dem Holzcylinder befindlichen Windungen kann von einer zwischen beiden Cylindern angebrachten Leiste *L*, Bruchteile einer Windung von einem mit Zeiger versehenen Teilkreis *T*, welcher an der vorderen Stirnseite von *H* befestigt ist, abgelesen werden (siehe Erkl. 294).

Frage 200. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Cylinderrheostats von Jacobi und Wheatstone?

Figur 125.



Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Cylinderrheostats von Jacobi und Wheatstone besteht in folgendem:

Auf einem Holzbrett ist in Lagern drehbar ein Cylinder *H* von Holz oder Marmor (siehe Erkl. 295) befestigt, in welchen ein flaches Schraubengewinde eingeschnitten ist. In dieses Gewinde ist auf der ganzen Länge des Cylinders *H* ein Neusilberdraht eingelegt, dessen eines Ende isoliert an der vorderen Stirnseite des Cylinders *H*, dessen anderes Ende an der hinteren Stirnseite des Cylinders *H*, an der metallenen und vergoldeten Achse desselben befestigt ist. Das in der Figur 125 hintere vergoldete Metalllager, in welchem die Achse ruht, steht mit der Klemmschraube p_2 in leitender Verbindung. *mn* ist ein Messingstab, auf welchem ein Messingrädchen *r* lose aufgeschoben ist, welches einen mit schmalen Backen versehenen Rand besitzt. Der Messingstab wird durch zwei Federn f_1 und f_2 gegen den Cylinder *H* gedrückt, so dass das Rädchen *r* auf dem Neusilberdraht des Cylinders schleift, wobei es mit den

Backen den Draht etwas umfasst. Wird der Cylinder mittels der in einer Achse angebrachten Kurbel gedreht, so muss sich demnach das Rädchen r auf dem Draht seitlich verschieben. Der Metallstab mn steht durch die eine Feder, etwa f_1, mit der Klemmschraube p_1 in leitender Verbindung.

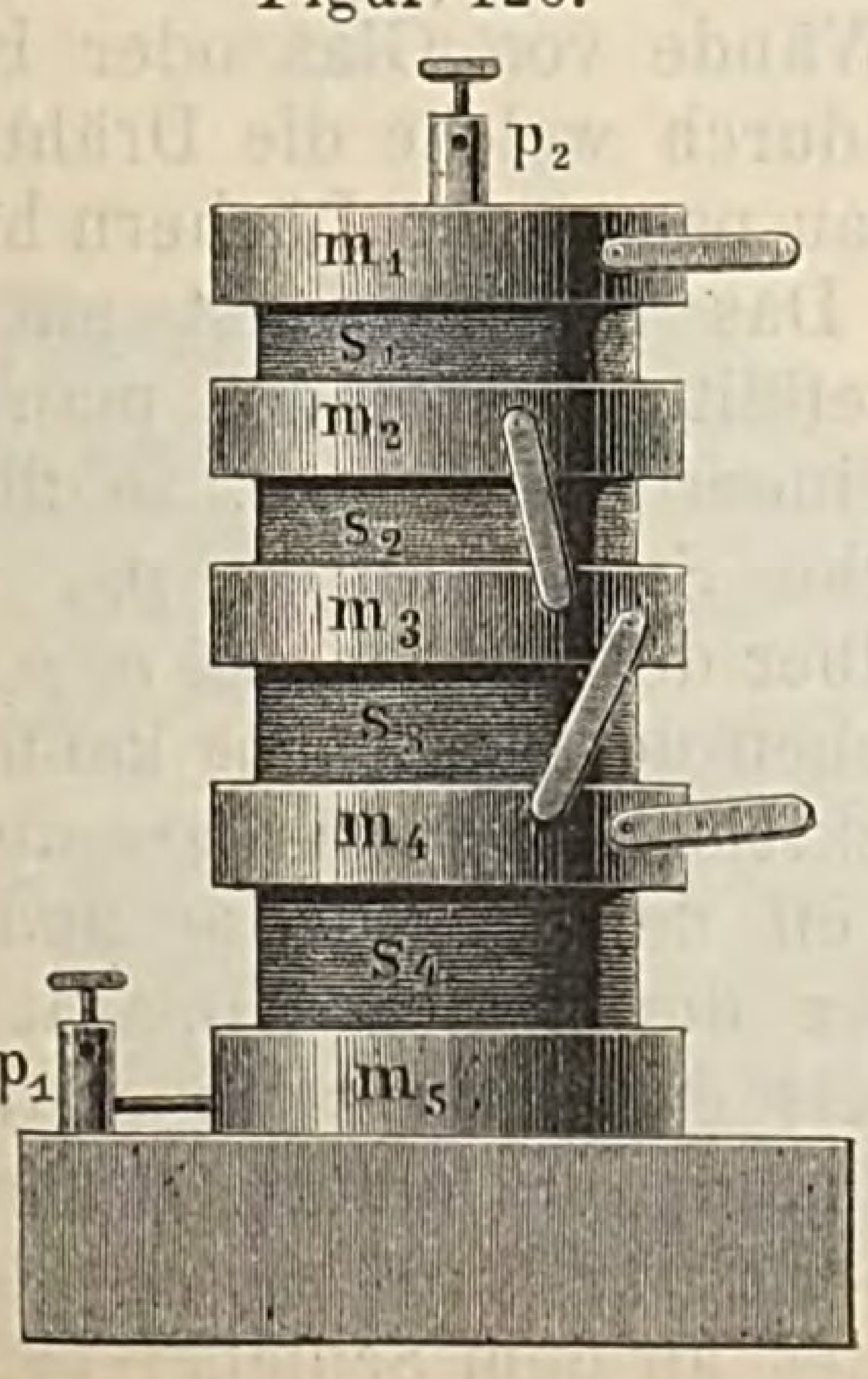
Wird nun p_1 und p_2 mit einem Rheomotor verbunden, so fliesst der elektrische Strom, je nach der Verbindung der Pole mit den Klemmschrauben des Rheostats, durch p_2, das Metalllager, den Draht, geht durch das Rädchen r in die Messingstange mn, die Feder f_1 nach p_1 oder umgekehrt. Durch Drehung der Kurbel in der einen oder andern Richtung kann die Länge des von dem Strome zu durchfliessenden Drahts beliebig vermehrt oder vermindert werden. Die Anzahl der in den Stromkreis eingeschalteten Windungen des Drahts wird von einer auf mn angebrachten Skala, Bruchteile einer Windung von dem auf der vorderen Stirnseite des Cylinders H befindlichen Teilkreis mittels des Zeigers z abgelesen (siehe Erkl. 296).

Erkl. 295. Marmor ist ein guter Isolator und ist als solcher dem Holz vorzuziehen, da letzteres Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen kann, wodurch sich seine Isolationsfähigkeit vermindert [siehe Antwort auf Frage 187 unter 10).]. Bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Rheostat ist daher ein Marmorcylinder vorzuziehen.

Erkl. 296. Der in nebenstehender Antwort beschriebene Rheostat besitzt den Uebelstand, dass das Rädchen r, siehe Figur 125, den Draht und den Metallstab mn nicht an allen Stellen gleichmässig stark berührt, wodurch der Widerstand sich mehr oder weniger ändern muss.

Frage 201. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch der Widerstandssäule von Eisenlohr?

Figur 126.



Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch der Widerstandssäule von Eisenlohr besteht in folgendem:

Auf einem hölzernen Cylinder ist eine je nach Bedarf grössere oder kleinere Anzahl Messingringe m, siehe Figur 126, befestigt. Zwischen diesen Ringen sind Drähte von verschiedener Länge (siehe Erkl. 297), welche mit Seide umsponnen (isoliert) sind, aufgewickelt. Die beiden Enden jedes dieser Drähte sind an je einen der beiden, die betreffende Drahtspule S einschliessenden Messingringe angelötet. An den Messingringen sind Messingschieber drehbar befestigt, welche mit starker Reibung über den benachbarten Ring geschoben werden können, wodurch alsdann die dazwischenliegende Widerstandsspule ausgeschaltet wird.

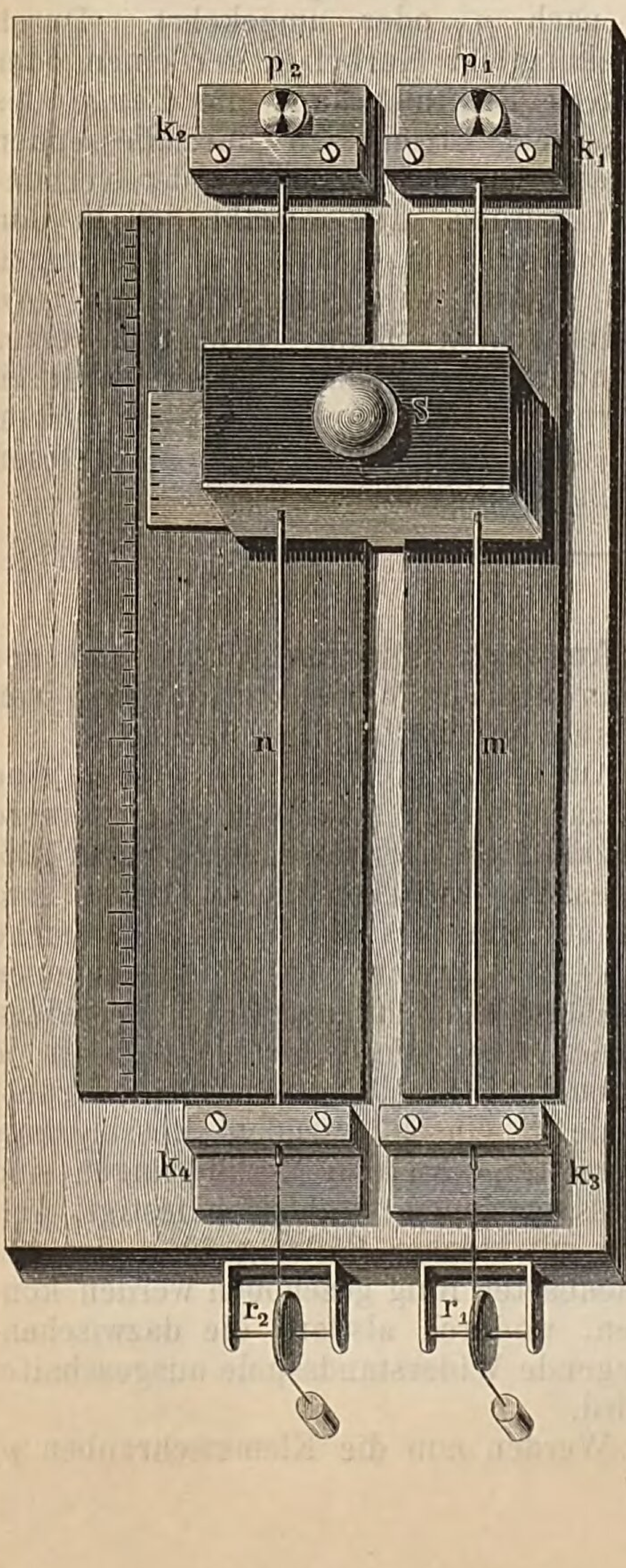
Werden nun die Klemmschrauben p_1

Erkl. 297. Man gibt den Drahtspulen des in nebenstehender Antwort beschriebenen Rheostats verschiedene Längen, so dass ihre Widerstände verschieden gross sind.

und p_2 mit einem Rheomotor verbunden, so durchfliesst der elektrische Strom alle diejenigen Widerstandsspulen, welche nicht durch Verbindung der sie umgebenden beiden Messingringe mittels der erwähnten Schieber ausgeschaltet sind. In der Figur 126 sind z. B. die Spulen s_2 und s_3 ausgeschaltet.

Frage 202. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch von Poggendorffs Rheochord?

Figur 127.



Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch von Poggendorffs Rheochord (siehe Erkl. 298) besteht in folgendem:

m und n, siehe Figur 127, sind zwei Platindrähte, welche in vergoldete Metallklötzchen k_1 k_2 k_3 k_4 befestigt sind. Bei k_3 und k_4 sind diese Drähte an seidenen Schnüren befestigt, welche über Rollen r_1 und r_2 laufend mit Gewichten beschwert sind, so dass die Drähte stets gerade ausgespannt bleiben. Unter den Drähten ist auf der hölzernen Grundplatte des Apparats eine in der Mitte mit einem Längsschlitz versehene, von den Lagern k_1 k_2 k_3 k_4 isolierte Metallplatte befestigt, auf welche eine den Drähten parallele Teilung in Millimeter aufgezeichnet ist. S ist ein Schieber, welcher sich, auf dieser Metallplatte in deren Schlitz eingepasst, verschieben lässt. Dieser Schieber trägt ein Kästchen von Eisenblech, welches auf den den Klötzchen k zugewandten beiden Seiten Wände von Glas oder Elfenbein besitzt, durch welche die Drähte m und n in genau passenden Löchern hindurchgehen. Das Kästchen ist mit Quecksilber gefüllt. Verbindet man p_1 und p_2 mit einem Rheomotor, so fliesst der elektrische Strom durch p_1, m, das Quecksilber des Kästchens, n, p_2. Durch Verschieben des Kästchens kann der von dem elektrischen Strom zu durchfliessende Teil der Drähte m und n und somit der durch den Apparat in den Stromkreis eingeführte Widerstand vergrössert und verkleinert werden. Die eingeschaltete Länge der Drähte wird mittels des an dem Schieber befestigten Zeigers auf dem Massstab abgelesen.

Erkl. 298. Das Wort Rheochord stammt von dem griech ῥεῖν = fliessen und χορδή = Saite.

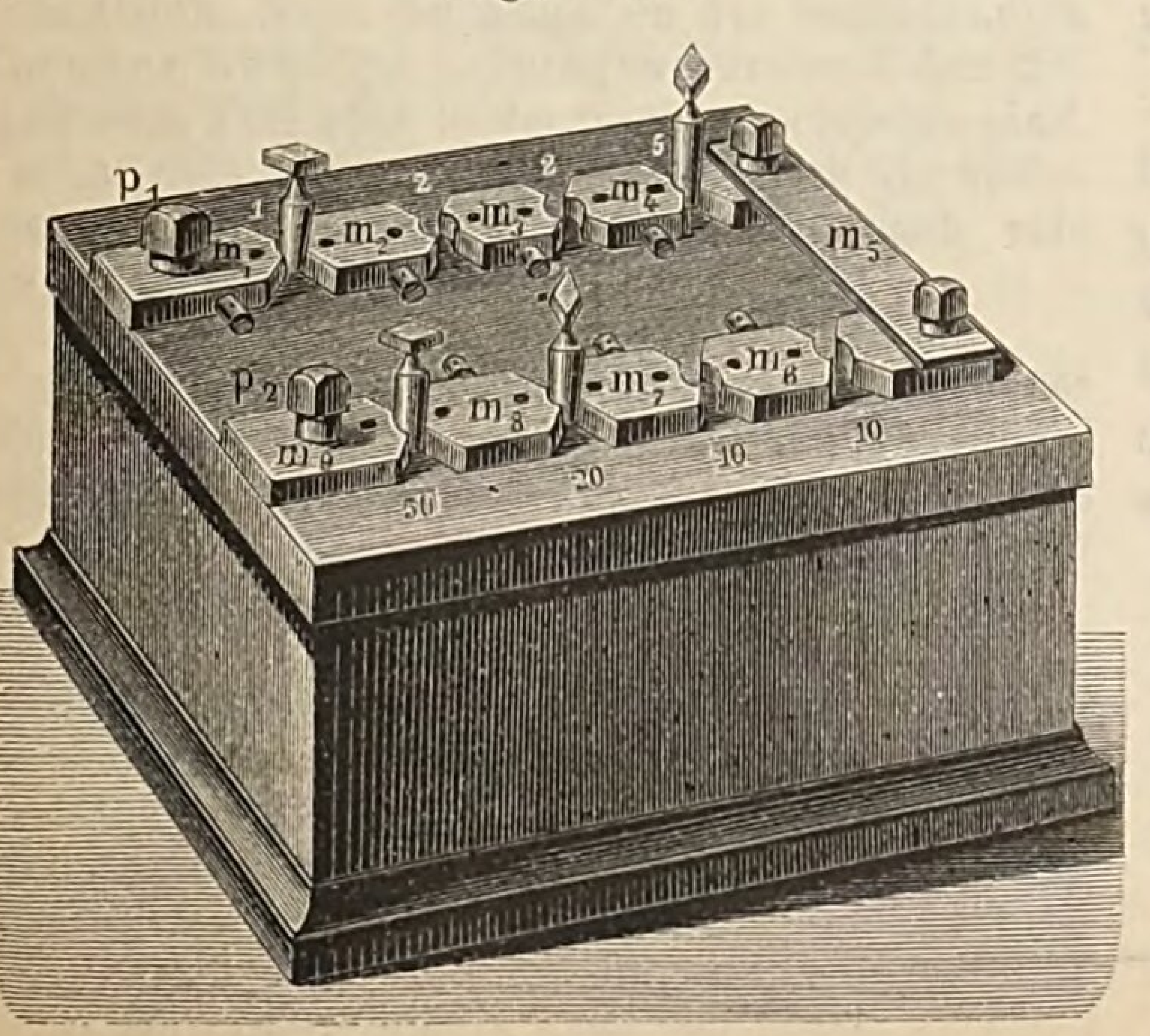
Frage 203. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Stöpselrheostats von Siemens?

Erkl. 299. Die Bewicklung der Rollen des in nebenstehender Antwort beschriebenen Rheostats geschieht in der Weise, dass zwei Drähte nebeneinander gelegt werden, die an einem Ende miteinander verbunden (verlötet) sind. Hierdurch werden die induzierenden und magnetischen Wirkungen der elektrischen Ströme, soweit sie diese Drahtspulen durchlaufen, vermieden. (Siehe die Lehrbücher des Elektromagnetismus und der Induktionselektricität dieses Werkes.)

Erkl. 300. Die Drahtlängen auf den einzelnen Rollen des in nebenstehender Antwort beschriebenen Rheostats sind so gewählt, dass deren Widerstände in einfachem Verhältnis stehen. Die erste Rolle enthält einen Widerstand gleich 1, die zweite und dritte einen doppelt so grossen, die vierte einen fünffachen, die fünfte einen zehnfachen Widerstand, so dass also die Widerstände der einzelnen Spulen der Reihe nach sich verhalten wie 1 zu 2 zu 2 zu 5 zu 10 etc. (siehe folgende Antwort und Erkl. 304).

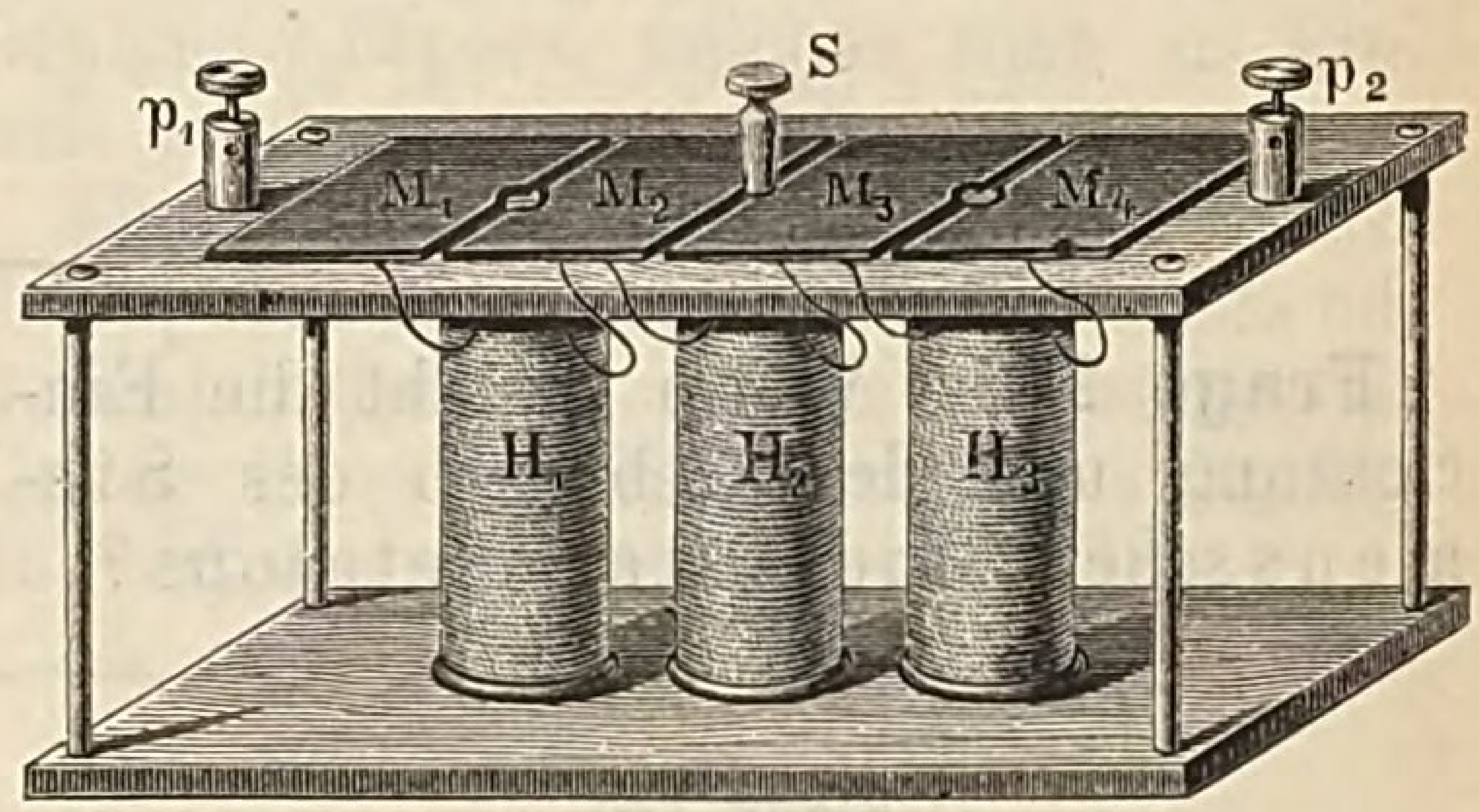
Erkl. 301. Ist bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Rheostat (siehe auch Antwort auf Frage 201) der Widerstand einer Spule durch Einsetzen des betreffenden Stöpsels aus dem Stromkreis ausgeschaltet, so sagt man auch, „die beiden benachbarten Messingplatten sind kurz geschlossen“. In der Figur 128 sind M_2 und M_3 kurz geschlossen.

Figur 129.



Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Stöpselrheostats von Siemens besteht in folgendem:

Figur 128.



1). Auf einem Brett ist eine Anzahl Holzrollen H, siehe Figur 128, befestigt, auf welchen mit Seide umsponnene Drähte aufgewickelt sind (siehe Erkl. 299). Ueber diesen Rollen ist ein Holzbrett angebracht, auf welchem Messingplatten M befestigt sind. Das eine Ende des Drahts der Rolle H_1 ist an der Messingplatte M_1, das andre Ende ist an der Messingplatte M_2 verlötet; ebenso steht H_2 mit M_2 und M_3, H_3 mit M_3 und M_4 in Verbindung. M_1 ist mit der Klemmschraube p_1, M_4 mit p_2 leitend verbunden. In die Messingplatten sind, genau gegenüber, halbkreisförmige Ausschnitte angebracht, in welche ein Messingstöpsel S genau passend eingesetzt werden kann, so dass die beiden benachbarten Platten, zwischen welchen ein solcher Stöpsel eingesetzt ist, in guter leitender Verbindung stehen.

Wird nun p_1 und p_2 mit einem Rheomotor verbunden, so zirkuliert der elektrische Strom durch alle Drahtspulen, deren Messingplatten nicht durch Einsetzen eines Stöpsels leitend verbunden sind (siehe die Erkl. 300 und 301).

2). Figur 129 stellt einen solchen Rheostat dar, welcher in einen Holzkasten eingeschlossen ist und bei welchem der die Messingstücke tragende Deckel der besseren Isolation wegen aus

Hartgummi besteht. Die den Widerstand der einzelnen Spulen bezeichnenden Zahlen, welche auf dem Deckel angegeben sind, bedeuten Siemenssche Widerstandseinheiten (siehe folgende Antwort). Die mit den beiden Messingplatten m_1 und m_2 verbundene Spule 1 besitzt demnach den Widerstand von 1 Siemensscher Einheit, die mit m_6 und m_7 verbundene Spule 10 den Widerstand von 10 Siemensschen Einheiten u. s. f. (siehe Erkl. 301).

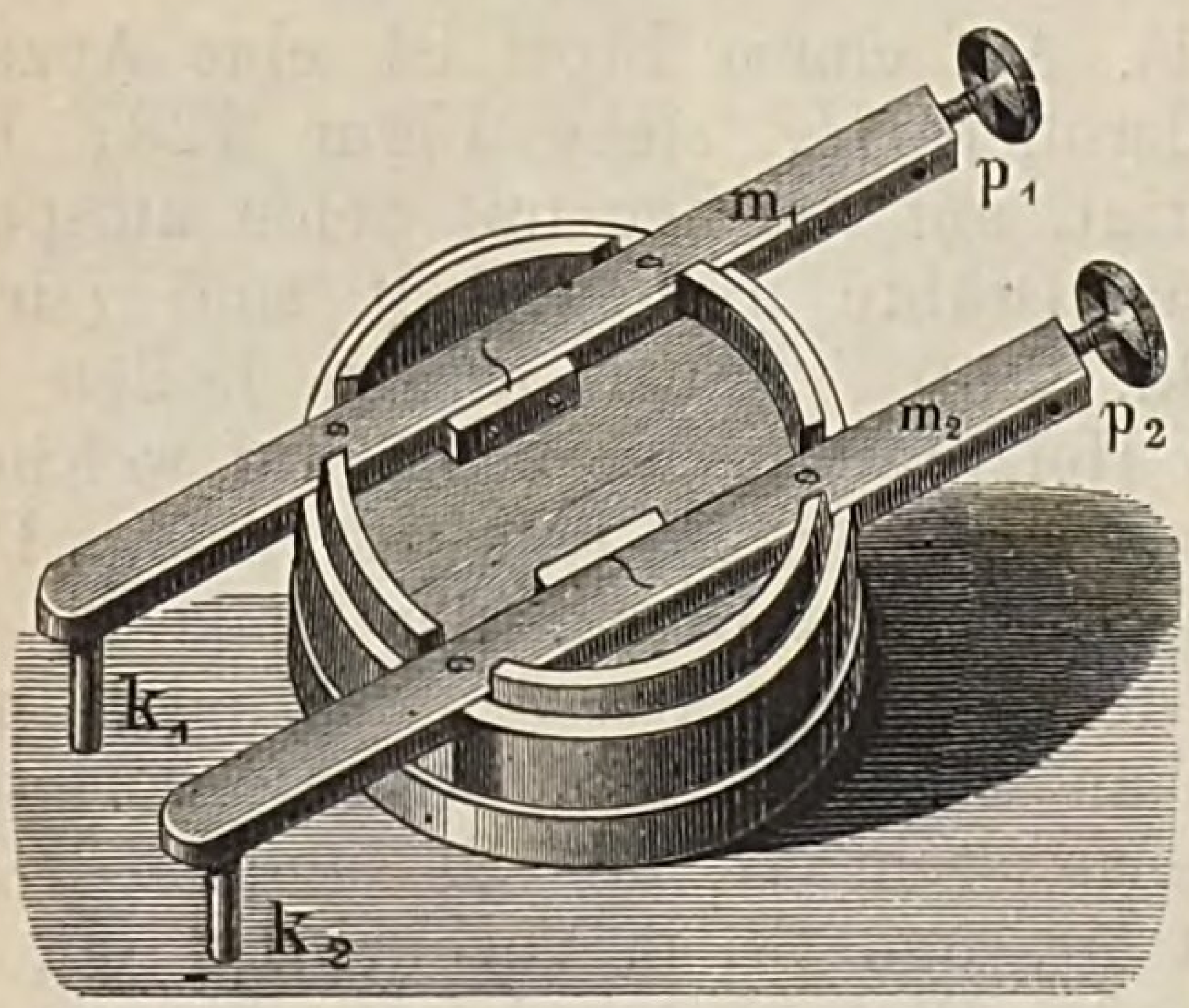
Erkl. 302. Die durch die Zahlen 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 50 bezeichneten Drahtspulen des Figur 129 dargestellten Rheostats sind in dem sie umgebenden Kasten in der Weise angeordnet, wie dies in nebenstehender Antwort unter 1). an drei Spulen dargethan ist.

Frage 204. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch des Siemensschen Widerstandsetalons?

Antwort. Die Einrichtung und der Gebrauch des Siemensschen Widerstandsetalons besteht in folgendem:

In einer Büchse, siehe Figur 130, ist ein zweifach mit Seide umsponnener, zur besseren Isolierung lackierter, in der in Erkl. 299 angegebenen Weise zur Spirale gewundener Neusilberdraht eingelegt, dessen Enden an den Messingstäben m_1 und m_2 festgelötet sind. m_1 und m_2 tragen an dem einen Ende Klemmschrauben p_1 und p_2, am andern Ende tragen sie amalgamierte Kupferstifte k_1 und k_2 zum Einlegen in Quecksilbernäpfe [siehe Antwort auf Frage 128 unter 4). und die Erkl. 303—306].

Figur 130.



Erkl. 303. Der Widerstand, welchen der in nebenstehender Antwort beschriebene Etalon besitzt, ist so gross wie der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und 1 □ Millimeter Querschnitt (siehe Erkl. 304).

Erkl. 304. Der in voriger Erklärung definierte Widerstand ist die von *Siemens* angegebene Quecksilbereinheit des Leitungswiderstands (siehe Erkl. 306).

Erkl. 305. Etalon (franz.) heisst Normal- oder Mustergewicht.

Erkl. 306. Der in nebenstehender Antwort beschriebene Widerstandsetalon dient als Masseinheit des Leitungswiderstands.

D). Ueber den Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen) der Metalle.

Frage 205. Wie wird die Grösse des spezifischen Leitungswiderstands eines Körpers ausgedrückt?

Antwort. Die Grösse des spezifischen Leitungswiderstands eines Körpers (siehe Antwort auf Frage 195) wird durch Vergleichung mit dem spezifischen Leitungswiderstand eines beliebigen Körpers, welchen man als Einheit annimmt, ausgedrückt.

Man pflegt im allgemeinen die Grösse des spezifischen Leitungswiderstands mit dem spezifischen Leitungswiderstand des Quecksilbers, des Silbers oder des Kupfers zu vergleichen (siehe Erkl. 307).

Erkl. 307. Da das Quecksilber leicht chemisch rein zu erhalten ist, so eignet es sich ganz besonders zur Vergleichung des spezifischen Widerstands (siehe die Erkl. 309—311).

Frage 206. Welches ist der spezifische Leitungswiderstand der bekanntesten Metalle?

Antwort. Der spezifische Leitungswiderstand der bekanntesten Metalle ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt, welche die Angaben von *Becquerel*, *Lenz*, *Matthiessen*, *Ohm*, *Riess* enthält (siehe Erkl. 308).

Spezifischer Leitungswiderstand von	nach *Becquerel*	*Lenz*	*Matthiessen*	*Ohm*	*Riess*
Blei	11,06	6,86	9,96	10,36	—
Eisen	7,41	5,60	5,36	5,72	5,88
Gold	1,41	1,25	1,38	1,74	—
Kupfer	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Platin	11,54	7,12	7,35	5,83	6,66
Quecksilber	52,89	21,58	47,48	—	—
Silber	0,91	0,73	0,77	2,80	0,67
Zinn	6,53	3,25	6,76	5,95	—
Zink	3,81	—	2,82	3,00	—

In dieser Tabelle ist der spezifische Leitungswiderstand des Kupfers als Einheit angenommen. Die darin enthaltenen Zahlen geben somit an, wievielmal grösser oder kleiner der Leitungswiderstand der angegebenen Metalle ist als der des Kupfers bei gleicher Länge und gleichem Querschnitt (siehe Antwort auf Frage 195 und Erkl. 308).

Erkl. 308. Aus nebenstehender Tabelle ist ersichtlich, dass die Angaben der bezeichneten Forscher über den Leitungswiderstand der Metalle zum Teil sehr bedeutend verschieden sind. Es hat dies seinen Grund darin, dass die untersuchten Metalle nicht absolut chemisch rein waren (siehe Erkl. 309).

Erkl. 309. Geringe Beimengungen anderer Metalle verändern den spezifischen Leitungswiderstand der Metalle, namentlich des Kupfers und Silbers (siehe Erkl. 310 und Antwort auf Frage 210).

Erkl. 310. Der spezifische Leitungswiderstand des Kupfers ist sehr verschieden, je nachdem dasselbe eine grössere oder geringere Menge von Kupferoxydul (eine Verbindung von Kupfer mit Sauerstoff) enthält, welches sich bei der Berührung schmelzenden Kupfers mit der Luft bildet (siehe Erkl. 311).

Erkl. 311. Der spezifische Leitungswiderstand des oxydulfreien und chemisch reinen Kupfers ist beinahe so gering wie der des Silbers.

Frage 207. Durch welche äusseren Einflüsse wird der spezifische Leitungswiderstand (das spezifische Leitungsvermögen) der Metalle verändert?

Antwort. Der spezifische Leitungswiderstand (das spezifische Leitungsvermögen) der Metalle wird durch folgende äusseren Einflüsse verändert:

1). Einflüsse der Wärme,

2). mechanische Einflüsse, und zwar
 a). Zugspannung (Dehnung),
 b). Härten,
 c). Drehung (Torsion),
 d). Dichte (spezifisches Gewicht),
 e). Druck.

Frage 208. Welches sind die wichtigsten Beziehungen zwischen dem Leitungsvermögen und der Temperatur der Metalle?

Antwort. Die wichtigsten Beziehungen zwischen dem Leitungsvermögen und der Temperatur der Metalle sind die folgenden:

1). Das Leitungsvermögen der Metalle für Elektricität stimmt mit deren Leitungsvermögen für Wärme überein,

2). das Leitungsvermögen der Metalle nimmt bei der Erhöhung der Temperatur ab,

und zwar nimmt das Leitungsvermögen aller Metalle bei der Temperaturerhöhung in demselben Verhältnis ab; nur beim Eisen ist diese Abnahme etwas grösser, beim Quecksilber dagegen bedeutend geringer als bei den übrigen Metallen.

Frage 209. In welcher Weise äussern sich die in Antwort auf Frage 208 unter 2). bezeichneten mechanischen Einflüsse auf das Leitungsvermögen der Metalle?

Antwort. Die in Antwort auf Frage 208 unter 2). bezeichneten mechanischen Einflüsse äussern sich auf das Leitungsvermögen der Metalle wie folgt:

1). Wird ein Draht durch Anhängen von Gewichten gedehnt, so wächst der Widerstand in höherem Masse, als der durch diese Dehnung bewirkten Verlängerung des Drahts und der Verringerung seines Querschnitts (siehe Antwort auf Frage 193) entspricht. Bei Neusilberdrähten hingegen soll durch Dehnen keine Vermehrung des Widerstands erzielt werden können.

2). Durch Aufwickeln eines Kupfer- oder Eisendrahts auf einen Cylinder wird sein spezifischer Widerstand etwas vermehrt, durch Abwickeln etwas vermindert.

3). Wird ein Stück Kupfer oder Eisen zu verschieden dickem Draht ausgezogen, so ist der spezifische Widerstand der dünneren Drähte beim Eisen etwas grösser, beim Kupfer etwas kleiner als der der dickeren Drähte.

4). Der spezifische Widerstand von Stahldrähten ist um so grösser, je härter diese Drähte sind.

5). Wird ein Eisen- oder Kupferdraht, welcher durch Ziehen gehärtet war, ausgeglüht, so wird sein Widerstand vermehrt (siehe die Erkl. 312 und 313).

6). Bei schmelzenden Metallen verändert sich deren Widerstand, und zwar nimmt er bei schmelzendem Zinn, Zink, Blei, Cadmium, Natrium, Kalium zu, bei schmelzendem Wismut, Antimon dagegen ab. Werden die geschmolzenen Metalle auf höhere Temperatur gebracht, so vermehrt sich deren Widerstand.

7). Durch Erschütterungen wird der Widerstand der Metalle mitunter vermehrt, mitunter dagegen vermindert.

Erkl. 312. Zu der in nebenstehender Antwort unter 5). gemachten Angabe sei bemerkt, dass nach andern Versuchen der Widerstand eines Drahts von Silber, Gold, Kupfer, Eisen, Platin oder Messing durch Ausglühen verringert wird. Nach einer andern Angabe vermindert sich der Widerstand nach schwachem Glühen, dagegen vermehrt er sich nach starkem Ausglühen.

Erkl. 313. Nach dem Erhitzen von Cadmiumdrähten ist deren Widerstand der gleiche wie vorher. Silberdrähte erhalten durch längeres Erhitzen einen geringeren Widerstand. Der Widerstand des Antimons nimmt nach mehrtägigem Erhitzen zu, der des Wismuts nimmt sehr schnell bis um $^1/_5$ zu.

E). Ueber den Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen) der Legierungen.

Frage 210. Wie kann man die Legierungen nach ihrem Leitungsvermögen einteilen?

Antwort. Nach ihrem Leitungsvermögen kann man die Legierungen einteilen wie folgt:

1). Die Metalle Blei, Cadmium, Zinn, Zink geben Legierungen mit demjenigen Leitungsvermögen, welches den Volumteilen der einzelnen Metalle entspricht.

2). Die Metalle Aluminium, Antimon, Eisen, Gold, Kupfer, Natrium, Palladium, Platin, Quecksilber, Silber, Thallium, Wismut haben mit einem sehr geringen Zusatz eines der unter 1). genannten Metalle ein bedeutend geringeres Leitungsvermögen, als dem Anteil der legierten Metalle entspricht. Das Leitungsvermögen der unter 1). genann-

Erkl. 314. Das in nebenstehender Antwort bezeichnete Verhalten der Legierungen lässt sich durch die in den Figuren 131 und 132 dargestellten graphischen Tabellen leicht ersehen.

Die auf der Achse xx_1 aufgezeichneten Zahlen bedeuten den Volumgehalt des hinten stehenden Metalls in 100 Teilen der Legierung. Die auf der Achse yy_1 aufgetragenen Zahlen bedeuten das spezifische Leitungsvermögen der betreffenden Legierung, wenn das spezifische Leitungsvermögen des Silbers zu 100 gesetzt wird.

In den Figuren 131 und 132 sind die Metalle durch ihre chemischen Zeichen angegeben. Es bedeutet also Ag Silber, Au Gold, Bi Wismut, Cu Kupfer, Sn Zinn.

1. **Beispiel.** Eine Legierung von 40 Raum-(Volum)teilen Wismut (Bi) mit 60 Raum(Volum)teilen Zinn (Sn) besitzt ein spezifisches Leitungsvermögen von 6, wenn das des Silbers = 100 gesetzt wird.

2. **Beispiel.** Eine Legierung von 90 Volumteilen Kupfer (Cu) und 10 Volumteilen Silber (Ag) hat ein spezifisches Leitungsvermögen von 70, wenn das spezifische Leitungsvermögen des Silbers = 100 gesetzt wird (siehe Erkl. 315).

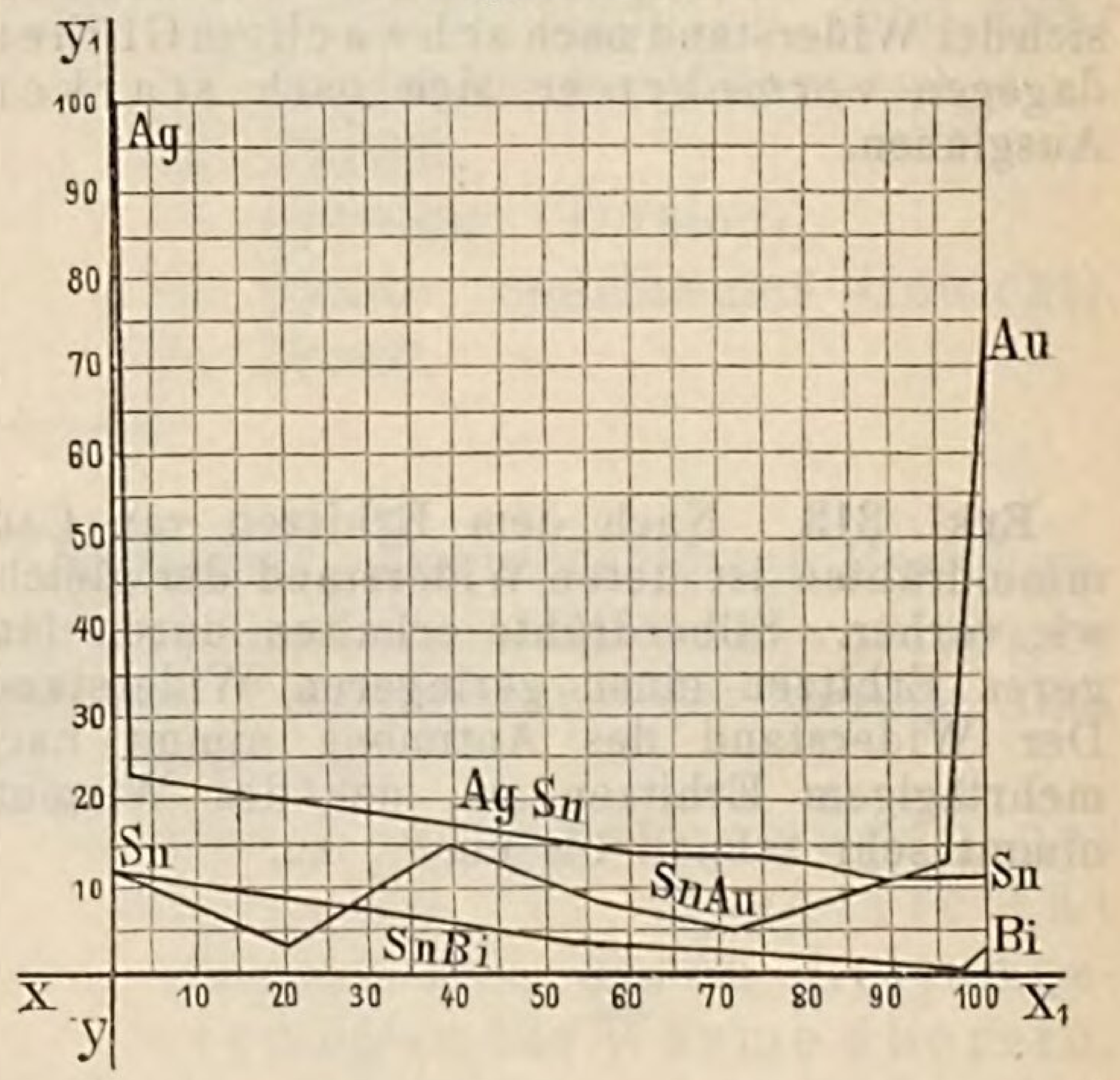
Erkl. 315. Aus voriger Erklärung geht hervor, dass geringe Beimengungen das Leitungsvermögen bedeutend verringern können. Dies gilt namentlich vom Kupfer (siehe die Erkl. 308—311). Wird das spezifische Leitungsvermögen des Silbers = 100 gesetzt, dann ist nach *Matthiessen* das spezifische Leitungsvermögen von

Kupfer,	chemisch rein	93,08
	an der Luft geschmolzen	73,32
	mit 0,05 % Kohle . .	74,91
	„ 2,5 % Phosphor .	7,24
	„ 0,13 % Phosphor .	67,67
	„ 5,4 % Arsen . . .	6,18
	„ Spuren von Arsen .	57,80
	„ 3,20 % Zink . . .	56,98
	„ Spuren von Zink .	83,05
	„ 1,06 % Eisen . .	26,95
	„ 0,48 % Eisen . .	34,56
	„ 4,90 % Zinn . . .	19,47
	„ 1,33 % Zinn . . .	48,52
	„ 2,45 % Silber . .	79,38
	„ 1,22 % Silber . .	86,91
	„ 3,50 % Gold . . .	65,36
	„ 0,1 % Blei . . .	89,49
	„ 0,1 % Zinn . . .	89,90
	an der Luft geschmolzen (siehe Erkl. 310).	83,94

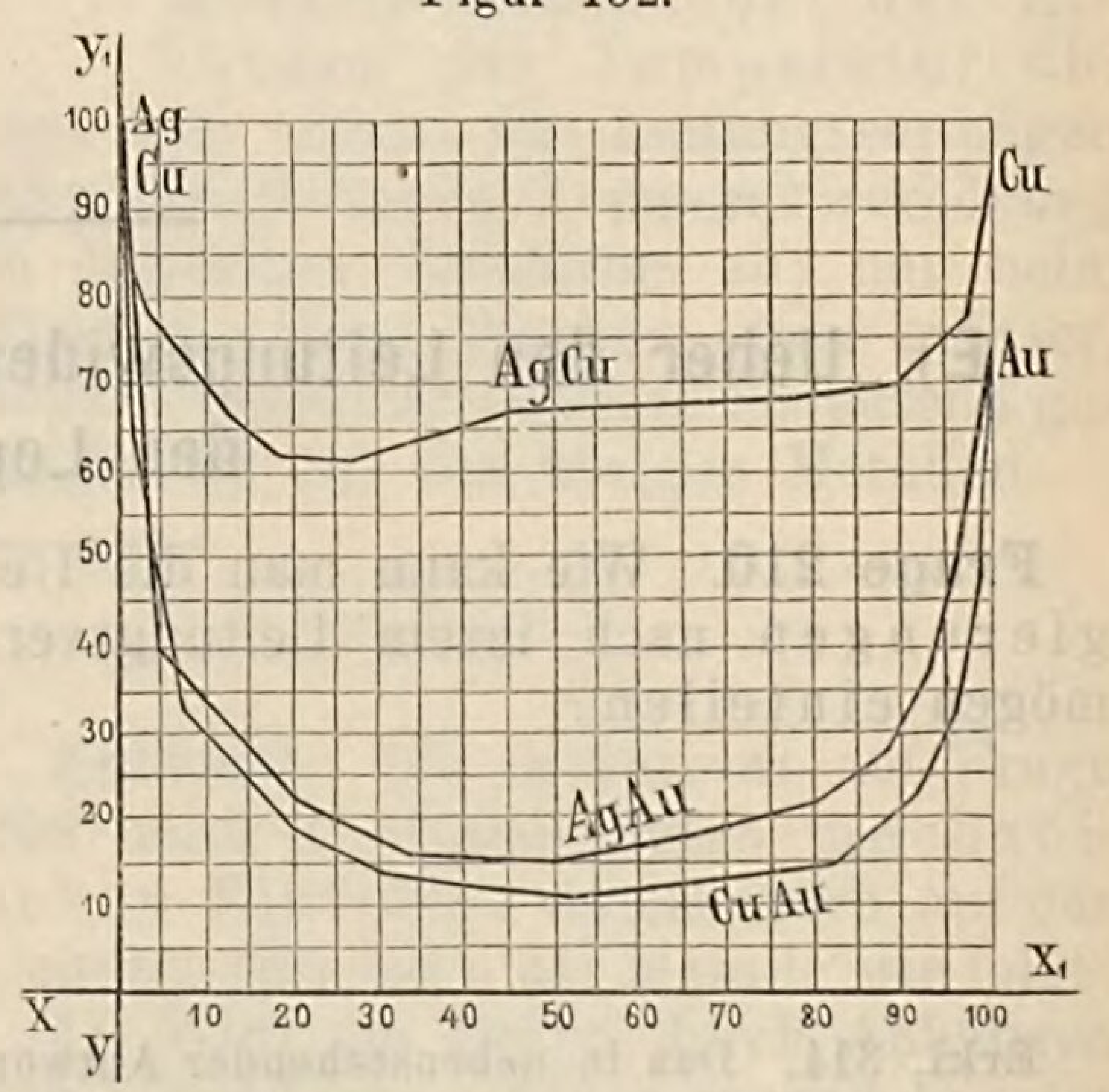
ten Metalle wird bei einem grossen Zusatz der hier unter 2). angegebenen Metalle wenig geändert.

3). Enthält Quecksilber eine kleine Menge eines andern Metalls, so nimmt sein Leitungsvermögen etwas zu, bei grösserem Zusatz nimmt es ab (siehe Erkl. 314).

Figur 131.



Figur 132.



F). Ueber den Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen) des Kohlenstoffs und des Selens.

Frage 211. Was lässt sich im allgemeinen über das Leitungsvermögen des Kohlenstoffs aussagen?

Antwort. Ueber das Leitungsvermögen des Kohlenstoffs lässt sich im allgemeinen folgendes aussagen:

Erkl. 316. Der Kohlenstoff kommt in der Natur in drei verschiedenen Formen vor, und zwar als Diamant, als Graphit und als Kohle.

Erkl. 317. Setzt man das spezifische Leitungsvermögen des Silbers = 100, dann ist das spezifische Leitungsvermögen des Graphit = 0,0693, der Gas- oder Retortenkohle (siehe Erkl. 131) = 0,0386, der Bunsenschen Kohle (siehe Erkl. 128) = 0,0029.

Erkl. 318. Die in nebenstehender Antwort unter 3). bezeichnete Aenderung des Leitungsvermögens durch Pressung findet schon durch den Einfluss schwacher Erschütterungen, z. B. von Tonschwingungen statt. Auf dieser Eigenschaft der Kohle beruht die Einrichtung und Wirkungsweise des Mikrophons (Schallverstärker). Ausführliches über das Mikrophon findet man in dieser Encyklopädie in *Mays* Lehrbuch der Telephonie und Mikrophonie.

1). Das Leitungsvermögen des Kohlenstoffs ist ein sehr verschiedenes, je nachdem derselbe als Diamant, Graphit oder Kohle auftritt (siehe Erkl. 316), und zwar ist

a). Diamant und Holzkohle ein Isolator: beide sind Nichtleiter des elektrischen Stroms,

b). Graphit, Gaskohle, Bunsensche Kohle sind Leiter des elektrischen Stroms (siehe Erkl. 317).

2). Das Leitungsvermögen der Kohle nimmt bei der Erwärmung zu.

3). Werden Graphit, Retortenkohle oder sonstige poröse Kohlenstücke gepresst, so nimmt deren Leitungsvermögen zu (siehe Erkl. 318).

Frage 212. Welche besondere Eigentümlichkeit zeigt das Leitungsvermögen des Selens?

Antwort. Das Leitungsvermögen des Selens zeigt die besondere Eigentümlichkeit, dass es bei der Beleuchtung zunimmt.

Wird daher ein elektrischer Strom durch eine Platte oder Stange von Selen geleitet, so nimmt die Intensität des elektrischen Stroms bei der Einwirkung des gewöhnlichen (zerstreuten, diffusen) Tageslichts bedeutend zu, da das Leitungsvermögen des Selens hierbei bis auf das Dreifache steigt. Bei der direkten Bestrahlung durch die Sonne steigt das Leitungsvermögen des Selens auf mehr als das Zehnfache (siehe die Erkl. 319 und 320).

Erkl. 319. Die in nebenstehender Antwort beschriebene besondere Eigenschaft des Selens wird zur Konstruktion der Photophone benutzt (siehe Erkl. 320).

Erkl. 320. Ein Photophon ist ein Apparat, mittels dessen Töne durch Vermittlung von Lichtwirkungen von einem Ort zum andern übertragen werden. Ausführliches darüber findet man in dieser Encyklopädie in *Mays* Lehrbuch der Telephonie und Mikrophonie.

G). Ueber den Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen) der Flüssigkeiten.

Frage 213. Was lässt sich im allgemeinen über das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten aussagen?

Antwort. Ueber das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten lässt sich im allgemeinen folgendes aussagen:

1). Das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten ist bedeutend geringer als das der Metalle. In folgender Tabelle ist das Leitungsvermögen einiger Flüssigkeiten nach *E. Becquerel* angegeben im Vergleich

zu dem Leitungsvermögen des Silbers, welches zu 100 Millionen angenommen ist (siehe Erkl. 321).

		Leitungsvermögen
Konzentrierte Lösung von Kupfersulfat (Kupfervitriol)	bei 9,25° Celsius	= 5,42
Vorstehende Lösung auf das Doppelte verdünnt		= 3,47
auf das Vierfache verdünnt		= 2,08
Konzentrierte Kochsalzlösung	bei 13,4° Celsius	= 31,52
Vorstehende Lösung auf das Doppelte verdünnt		= 23,08
auf das Dreifache verdünnt		= 17,48
auf das Vierfache verdünnt		= 13,58
Konzentrierte Lösung von Zinkvitriol (Zinksulfat) .	bei 14,4° Celsius	= 5,77
Vorstehende Lösung auf das Doppelte verdünnt		= 7,13
auf das Vierfache verdünnt		= 5,43

2). Das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten nimmt bei steigender Temperatur zu (siehe Erkl. 277).

3). Werden zwei Flüssigkeiten gemischt, so ist das Leitungsvermögen der Mischung häufig bedeutend grösser als es die Berechnung aus dem Leitungsvermögen der beiden Flüssigkeiten ergibt.

4). Sehr geringe Zusätze von Salzen steigern das Leitungsvermögen mancher Flüssigkeiten, namentlich des Wassers (siehe die Erkl. 213 und 322).

Erkl. 321. Das Leitungsvermögen der Lösungen der Salze ist je nach ihrer Konzentration verschieden. Jede Lösung besitzt einen bestimmten Konzentrationsgrad, bei welchem sie das grösste Leitungsvermögen besitzt, so dass also das Leitungsvermögen bei grösserer Konzentration ebenso wie bei grösserer Verdünnung abnimmt.

Erkl. 322. Zu nebenstehender Antwort unter 4). sei bemerkt, dass durch einen Gehalt des Wassers an atmosphärischer Luft das Leitungsvermögen des Wassers vermindert wird.

H). Ueber den Widerstand des Uebergangs.

Frage 214. Was versteht man unter dem Widerstand des Uebergangs?

Antwort. Unter dem Widerstand des Uebergangs versteht man einen Widerstand, welcher beim Durchgang des elektrischen Stroms durch einen Leiter zweiter Klasse (siehe Antwort auf Frage 188) auftreten kann.

Frage 215. Wodurch wird der Widerstand des Uebergangs hervorgerufen?

Antwort. Der Widerstand des Uebergangs wird hervorgerufen durch alle bei der Zersetzung von Leitern zweiter Klasse durch den dieselben durchfliessenden Strom gebildeten Zersetzungsprodukte, welche einen andern Leitungswiderstand besitzen als der betreffende Leiter zweiter Klasse.

1. Beispiel. Wird verdünnte Schwefelsäure zwischen Elektroden aus Kupfer in den Stromkreis eines Rheomotors eingeschaltet, so scheidet sich an der mit dem positiven Pol des Rheomotors verbundenen Elektrode Kupferoxyd ab, welches ein sehr schlechter Leiter ist. Der Widerstand im Stromkreis wird somit vermehrt.

Erkl. 323. Die Ansicht, dass auch beim Uebergang des elektrischen Stroms aus einem Metall in ein anderes Metall eine Veränderung (Vermehrung oder Verminderung) des Widerstands stattfinde, ist irrig. Wird z. B. ein Eisenstab und ein Neusilberstab zusammengelötet, so besitzen beide zusammen denselben Gesamtwiderstand wie eine beliebige Anzahl abwechselnd zusammengelöteter Eisen- und Neusilberstäbchen, vorausgesetzt, dass deren Gesamtlängen den Längen des grossen Eisen- bezw. Neusilberstabs genau gleich sind.

2. Beispiel. Wird eine Lösung von schwefelsaurem Kupfer (Kupfervitriol) zwischen Elektroden aus Platin in den Stromkreis eines Rheomotors eingeschaltet, so scheidet sich infolge der Zersetzung der Lösung an der mit dem positiven Pol des Rheomotors verbundenen Elektrode Schwefelsäure ab. Da nun die Schwefelsäure besser leitet als die Kupfervitriollösung, so tritt hier eine Verminderung des Leitungswiderstands ein, der Uebergangswiderstand ist daher in diesem Falle ein negativer (siehe Erkl. 323).

10). Ueber die galvanische Polarisation.

A). Ueber die Polarisation im allgemeinen (sekundäre Ströme).

Frage 216. Welche Erscheinung findet statt, wenn in den Stromkreis eines Rheomotors ein Voltameter eingeschaltet wird?

Antwort. Wird in den Stromkreis eines Rheomotors ein Voltameter eingeschaltet, so findet eine Schwächung des Stroms des Rheomotors statt, welche dadurch hervorgerufen wird, dass in dem Voltameter beim Durchgang des Stroms des Rheomotors eine elektromotorische Kraft auftritt, welche derjenigen des Rheomotors entgegengesetzt wirkt.

Frage 217. Wie bezeichnet man die in einem von einem elektrischen Strom durchflossenen Voltameter auftretende elektromotorische Kraft, und wie bezeichnet man den Zustand des Voltameters, in welchem diese elektromotorische Kraft auftritt?

Erkl. 324. Polarisation (vom latein. polus = Pol, Drehpunkt) heisst Erteilung der Eigenschaft, entgegengesetzt zu wirken.

Antwort. Die in einem von einem elektrischen Strom durchflossenen Voltameter auftretende elektromotorische Kraft bezeichnet man, weil sie der elektromotorischen Kraft des Rheomotors entgegenwirkt, als elektromotorische Gegenkraft. Von einem Voltameter, in welchem diese elektromotorische Gegenkraft auftritt, sagt man, es befindet sich im Zustand der Polarisation (siehe Erkl. 324).

Frage 218. Wodurch ist das Auftreten einer elektromotorischen Gegenkraft in einem Stromkreis bedingt?

Antwort. Das Auftreten einer elektromotorischen Gegenkraft ist dadurch bedingt, dass der Strom des Rheomotors einen Leiter zweiter Klasse (siehe Antwort auf Frage 188) durchfliesst, wobei entweder

1). die Elektroden (Metallplatten), mittels deren der Leiter zweiter Klasse in den Stromkreis eingeschaltet wird, sich

mit den durch die Wirkung des Stroms erzeugten Zersetzungsprodukten des Leiters zweiter Klasse (Elektrolyte, siehe Erkl. 279) bedecken (beladen), welche alsdann elektromotorisch wirken (siehe folgende Antwort), oder wobei

2). diese Elektroden durch die beim Durchgang des elektrischen Stroms durch den Leiter zweiter Klasse auf ihnen abgeschiedenen Zersetzungsprodukte derart verändert werden, dass sie selbst eine elektromotorische Gegenkraft ausüben (siehe Antwort auf Frage 220).

Frage 219. Welches ist das bekannteste Beispiel der in voriger Antwort unter 1). bezeichneten Art der Polarisation, bei welcher die Elektroden der Zersetzungszelle selbst unverändert bleiben?

Antwort. Das bekannteste Beispiel der in voriger Antwort unter 1). bezeichneten Art der Polarisation, bei welcher die Elektroden der Zersetzungszelle selbst unverändert bleiben, ist der in Antwort auf Frage 217 bezeichnete Vorgang in einem Voltameter, welches in einen Stromkreis eingeschaltet ist.

Frage 220. Welches ist das bekannteste Beispiel der in Antwort auf Frage 218 unter 2). bezeichneten Art der Polarisation, bei welcher die Elektroden der Zersetzungszelle verändert werden?

Erkl. 325. Der in nebenstehender Antwort beschriebene Vorgang wurde von *Sinsteden* im Jahre 1854 zuerst beobachtet und später von *Planté* zur Konstruktion der Blei-Accumulatoren benutzt (siehe Erkl. 326).

Erkl. 326. Accumulator (latein.) heisst Anhäufer (der Elektricität) (siehe Erkl. 327).

Erkl. 327. Ausführliches über die Accumulatoren und über die Vorgänge in denselben bei deren Ladung und Entladung (siehe Erkl. 329) findet man in dieser Encyklopädie in *Mays* Lehrbuch der Elektrochemie.

Erkl. 328. Statt der Bleiplatten kann man bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Experiment auch Silber- oder Nickelplatten verwenden.

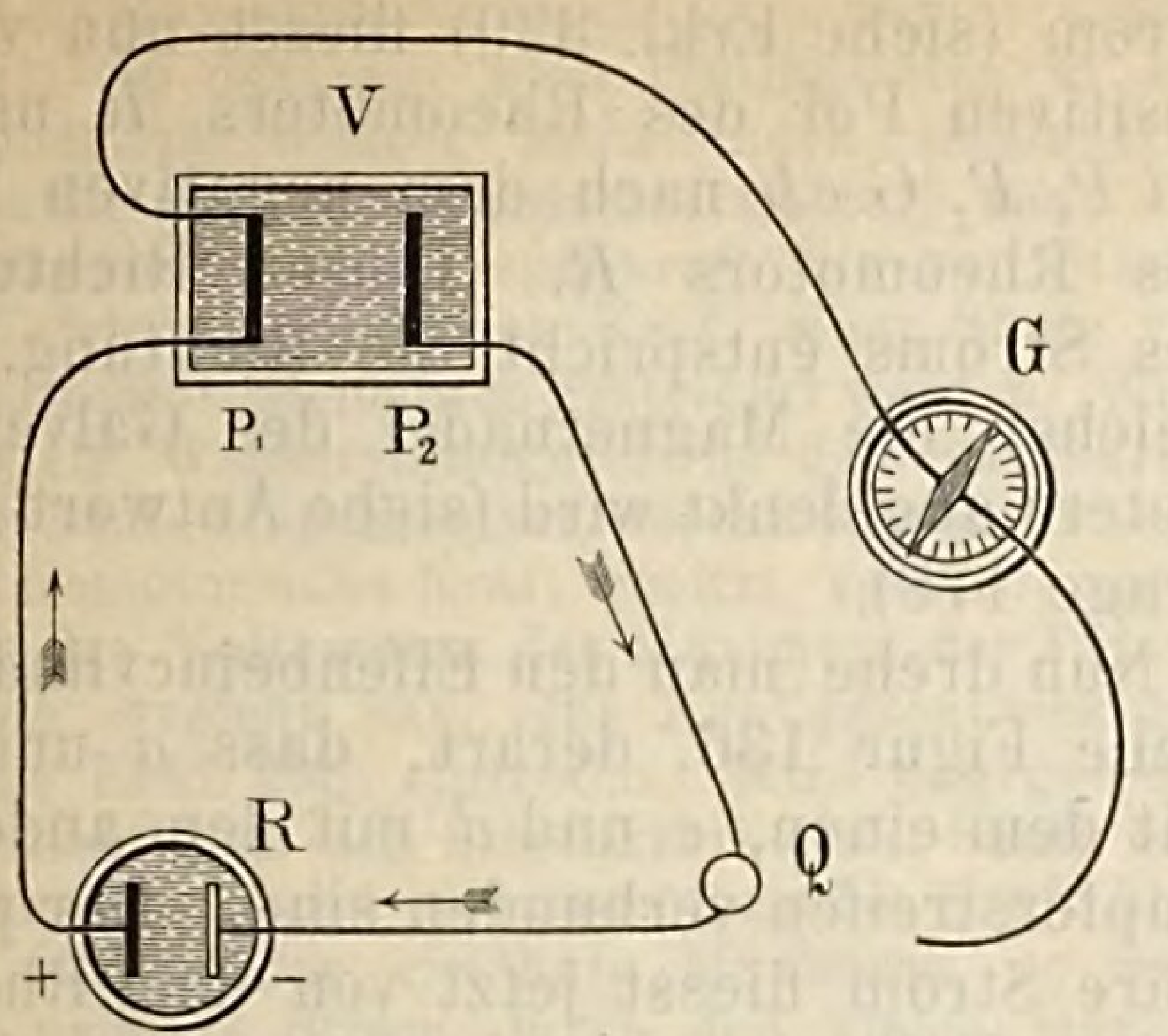
Antwort. Das bekannteste Beispiel der in Antwort auf Frage 218 unter 2). bezeichneten Art der Polarisation ist folgendes:

Wird durch zwei in verdünnter Schwefelsäure stehende Bleiplatten ein elektrischer Strom geleitet, so wird die mit dem negativen Pol des Rheomotors verbundene Bleiplatte mit Wasserstoff bedeckt; der Sauerstoff, welcher sich an der mit dem positiven Pol des Rheomotors verbundenen Bleiplatte ausscheidet, verbindet sich mit einem Teil des Bleis zu Bleisuperoxyd, welches diese Bleiplatte bedeckt. Wird nunmehr der Rheomotor ausgeschaltet und das sekundäre Element (siehe Erkl. 329) geschlossen, so äussert sich die Polarisation in der in folgender Antwort beschriebenen Weise (siehe die Erkl. 325 bis 328).

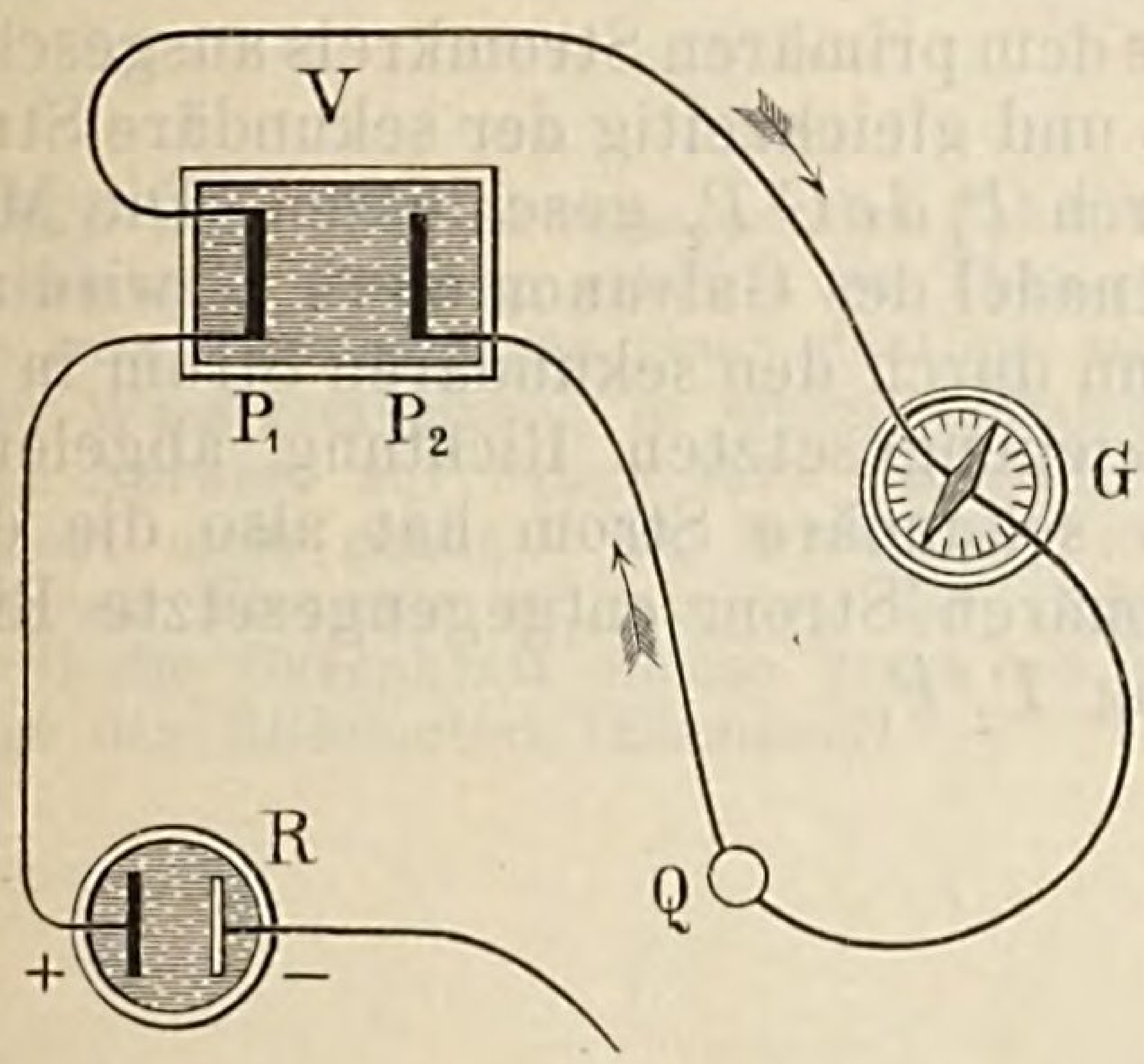
Frage 221. Wie kann man die in den vorstehenden Antworten bezeichnete Erscheinung der Polarisation experimentell darthun?

Antwort. Um experimentell darzuthun, dass bei dem Durchleiten des elektrischen Stroms durch ein Voltameter

Figur 133.



Figur 134.



Erkl. 329. Den Strom des mit dem Voltameter verbundenen Rheomotors (siehe nebenstehende Antwort) nennt man den primären Strom, den durch Polarisation im Voltameter entstehenden Strom nennt man den sekundären oder Polarisationsstrom; die Platinplatten des Voltameters (die Voltameterelektroden) nennt man polarisiert, und zwar ist die mit dem positiven Pol des Rheomotors verbundene Elektrode P_1 negativ polarisiert, die mit dem negativen Pol des Rheomotors verbundene Elektrode P_2 positiv polarisiert.

Wird durch ein Voltameter ein primärer Strom geleitet, um darin einen sekundären Strom zu erzeugen, so sagt man: das Voltameter wird geladen; wird der sekundäre Strom geschlossen (siehe nebenstehende Antwort), so sagt man: das Voltameter wird entladen.

Ein polarisiertes Voltameter nennt man ein sekundäres Element, ein Ladungselement oder ein Polarisationselement; eine Anzahl nach Art der Voltaschen Säule verbundener sekundärer Elemente (siehe Antwort auf Frage 26) bildet eine sekundäre Säule, Kette oder Batterie, eine Ladungssäule etc. oder eine Polarisationssäule etc.

in dem Voltameter eine elektromotorische Gegenkraft auftritt, kann man in folgender Weise verfahren:

1). Man verbinde die Platinplatte P_1 des Voltameters V, siehe die schematische Figur 133, mit dem positiven Pol des Rheomotors R und zugleich mit dem Galvanometer G, und verbinde die Platinplatte P_2 mit dem negativen Pol des Rheomotors durch Vermittlung des Quecksilbernäpfchens Q. Der elektrische Strom fliesst nun von dem positiven Pol des Rheomotors nach $P_1 P_2 Q$ zu dem negativen Pol.

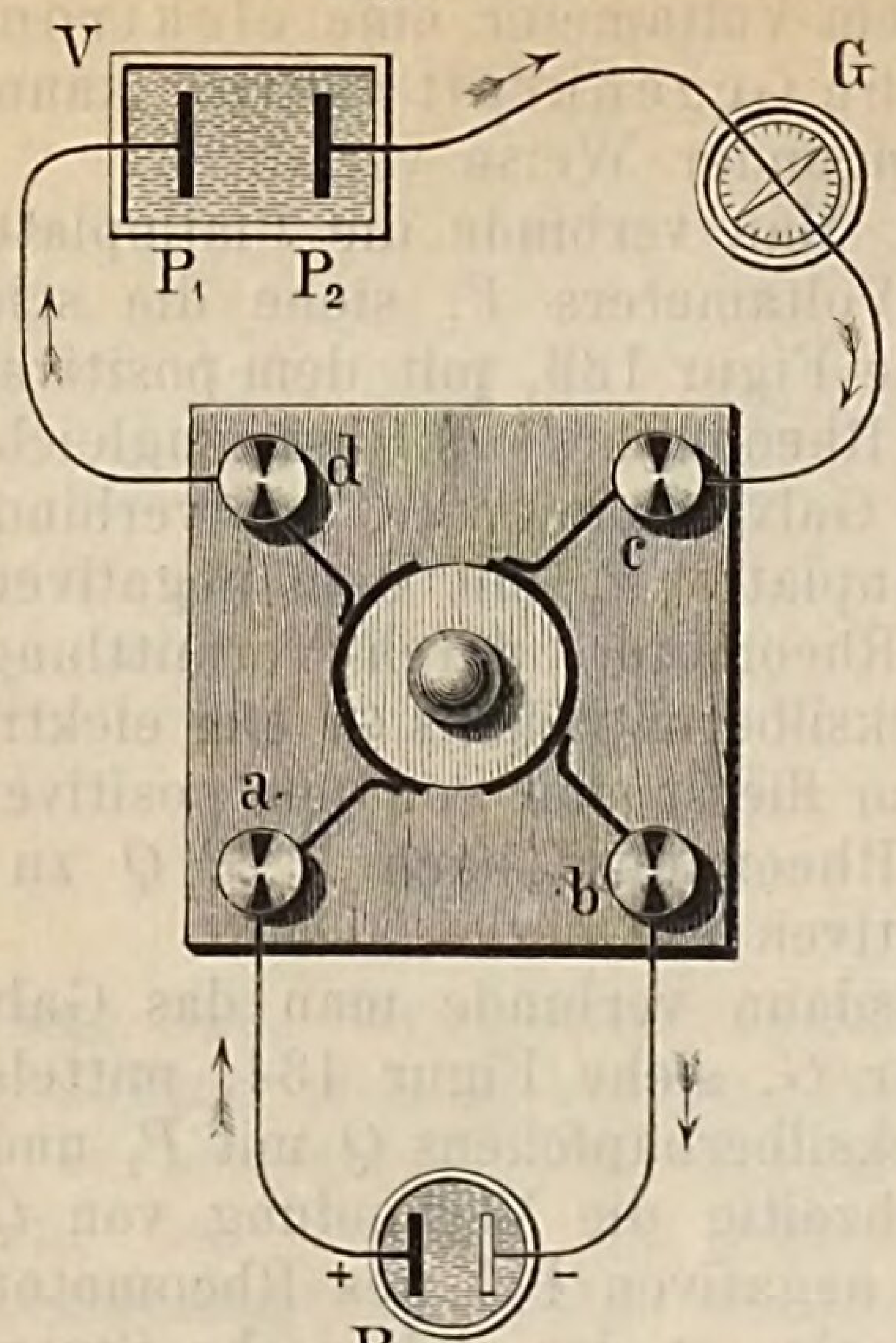
Alsdann verbinde man das Galvanometer G, siehe Figur 134, mittels des Quecksilbernäpfchens Q mit P_2 und löse gleichzeitig die Verbindung von Q mit dem negativen Pol des Rheomotors R. Nunmehr ist der elektrische Strom des Rheomotors unterbrochen und der Ausschlag des Galvanometers zeigt an, dass ein Strom in dem Kreise $P_1 G Q P_2$ zirkuliert, dessen Richtung zwischen P_1 und P_2 derjenigen des vorher von dem Rheomotor kommenden Stroms entgegengesetzt ist.

2). Um die unter 1). beschriebene Ausschaltung des primären und die Einschaltung des sekundären Stroms (siehe Erkl. 329) leicht gleichzeitig zu bewirken, kann man sich folgender Einrichtung bedienen:

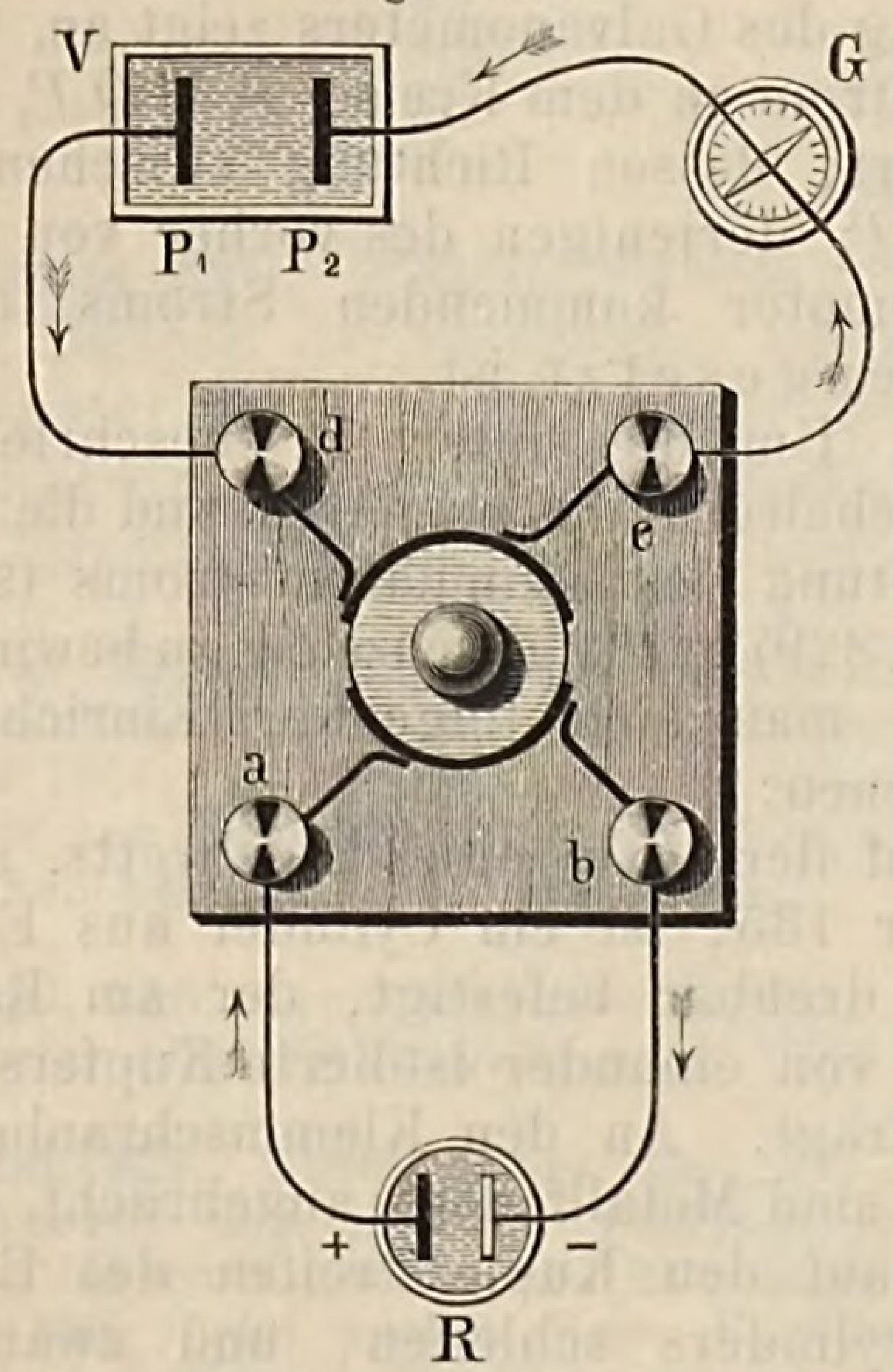
Auf der Mitte eines Holzbretts, siehe Figur 135, ist ein Cylinder aus Elfenbein drehbar befestigt, der am Rande zwei von einander isolierte Kupferstreifen trägt. An den Klemmschrauben a b c d sind Metallfedern angebracht, welche auf den Kupferstreifen des Elfenbeincylinders schleifen, und zwar so, dass stets zwei benachbarte Federn einen und denselben Kupferstreifen berühren.

Man verbinde die Klemmschraube a mit dem positiven, b mit dem negativen Pol des Rheomotors R, verbinde d mit der Platinplatte P_1 des Voltameters V, c mit dem Galvanometer G und dieses mit der Platinplatte P_2 des Voltameters V, und drehe den Elfenbeincylinder so, dass a und d durch den einen, b und c durch den andern Kupfer-

Figur 135.



Figur 136.



streifen verbunden sind. Der primäre Strom (siehe Erkl. 329) fliesst nun vom positiven Pol des Rheomotors *R* nach *a d* P_1 P_2 *G c b* nach dem negativen Pol des Rheomotors *R*. Dieser Richtung des Stroms entspricht die Richtung, in welcher die Magnetnadel des Galvanometers abgelenkt wird (siehe Antwort auf Frage 178).

Nun drehe man den Elfenbeincylinder, siehe Figur 136, derart, dass *a* und *b* mit dem einen, *c* und *d* mit dem andern Kupferstreifen verbunden sind. Der primäre Strom fliesst jetzt von dem Rheomotor *R* durch *a* und *b* wieder nach dem Rheomotor *R* zurück; es ist somit das Voltameter *V* und das Galvanometer *G* aus dem primären Stromkreis ausgeschaltet und gleichzeitig der sekundäre Strom durch P_1 *d c G* P_2 geschlossen. Die Magnetnadel des Galvanometers *G* wird alsdann durch den sekundären Strom in der entgegengesetzten Richtung abgelenkt, der sekundäre Strom hat also die dem primären Strom entgegengesetzte Richtung P_2 P_1.

Frage 222. Welcher Vorgang findet bei der L a d u n g, welcher bei der E n t l a d u n g eines sekundären Elements statt?

Antwort. Bei der L a d u n g eines sekundären Elements (siehe Erkl. 329) wird die Flüssigkeit desselben zersetzt (siehe Antw. auf Frage 218) und die Zersetzungsprodukte lagern sich auf den Elektroden derselben ab. Wird das sekundäre Element entladen, so findet die Wiedervereinigung der durch den primären Strom getrennten Zersetzungsprodukte statt.

Erkl. 330. Jedes sekundäre Element besitzt ein Maximum der elektromotorischen Gegenkraft. In dem aus zwei Platinplatten in angesäuertem Wasser bestehenden sekundären Element (in dem Wasservoltameter) kann die elektromotorische Gegenkraft bis zur Stärke der elektromotorischen Kraft einer Säule von 2, 3 Daniell-Elementen gesteigert werden. Wird also ein Wasservoltameter in den Stromkreis einer Säule eingeschaltet, welche eine grössere elektromotorische Kraft besitzt, so wird, nachdem das Voltameter das Maximum der Polarisation erreicht hat, eine Knallgasentwicklung (siehe Erkl. 208) eintreten. Wird dagegen das Voltameter in den Stromkreis einer Säule eingeschaltet, deren elektromotorische Kraft kleiner ist als das erwähnte Maximum, so wird der primäre Strom durch den gleich starken sekundären Gegenstrom aufgehoben (siehe Erklärung 331).

Erkl. 331. Der in vorstehender Erklärung beschriebene Vorgang erklärt die Thatsache, dass zum Hervorbringen einer deutlich sichtbaren Wasserzersetzung in einem Voltameter (siehe Antwort auf Frage 157) ein einzelnes Element nicht genügt. Bei Anwendung eines einzelnen Elements ist nämlich die elektromotorische Gegenkraft ebenso gross als diejenige des Rheomotors (Elements).

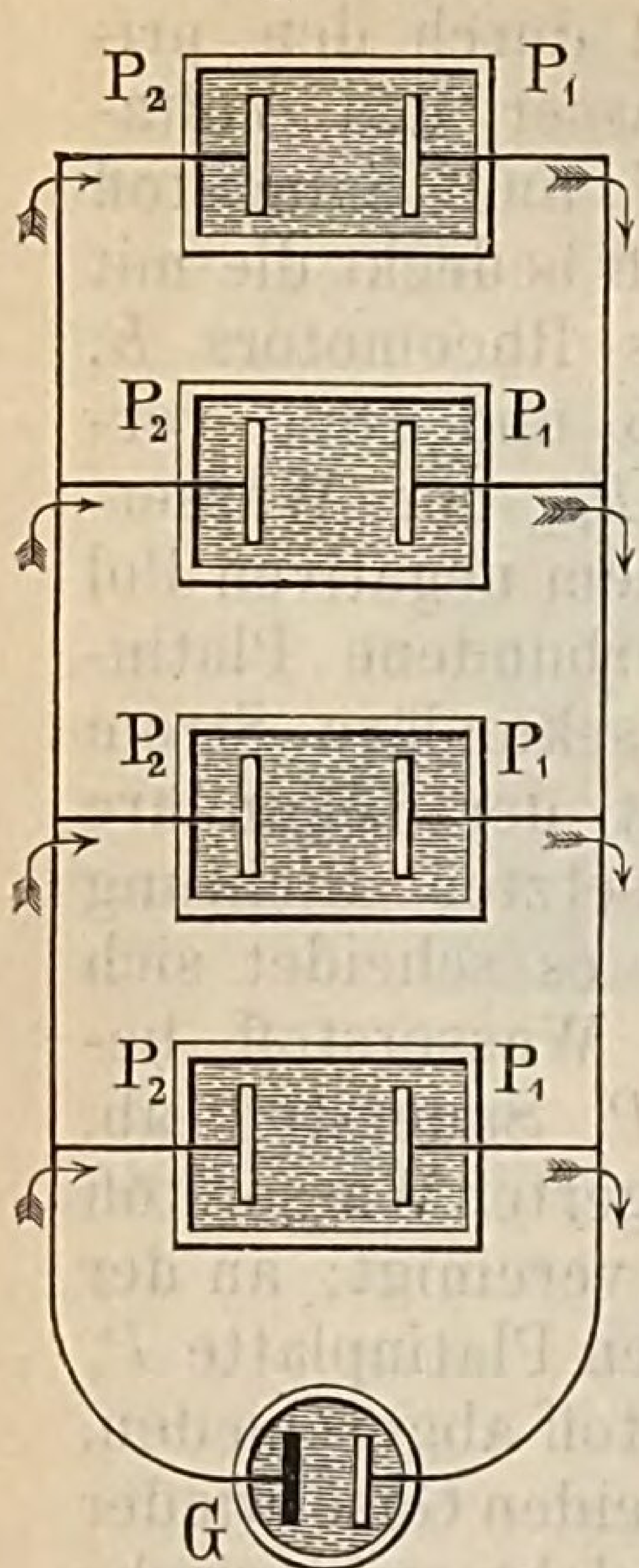
Bei dem in voriger Antwort beschriebenen Experiment wird durch den primären Strom das Wasser des Voltameters in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt. Der Sauerstoff bedeckt die mit dem positiven Pol des Rheomotors R, siehe die Figuren 135 und 136, verbundene Platinplatte P_1, der Wasserstoff bedeckt die mit dem negativen Pol des Rheomotors R verbundene Platinplatte P_2. Wird der sekundäre Strom geschlossen, so fliesst der sekundäre Strom in entgegengesetzter Richtung durch das Voltameter; es scheidet sich nunmehr an der mit Wasserstoff beladenen Platinplatte P_2 Sauerstoff ab, welcher mit dem abgelagerten Wasserstoff sich wieder zu Wasser vereinigt; an der mit Sauerstoff beladenen Platinplatte P_1 wird nunmehr Wasserstoff abgeschieden, wobei ebenfalls diese beiden Gase wieder Wasser bilden. Die elektromotorische Gegenkraft und mit ihr der durch dieselbe erzeugte sekundäre Strom verschwindet bei der Beendigung dieses sekundären Vorgangs (siehe Erkl. 330).

Ein polarisiertes Voltameter wirkt sonach in gleicher Weise wie ein Gas-Element (siehe die Antworten auf die Fragen 122 und 123); der sekundäre Strom besitzt dieselben Eigenschaften wie der primäre.

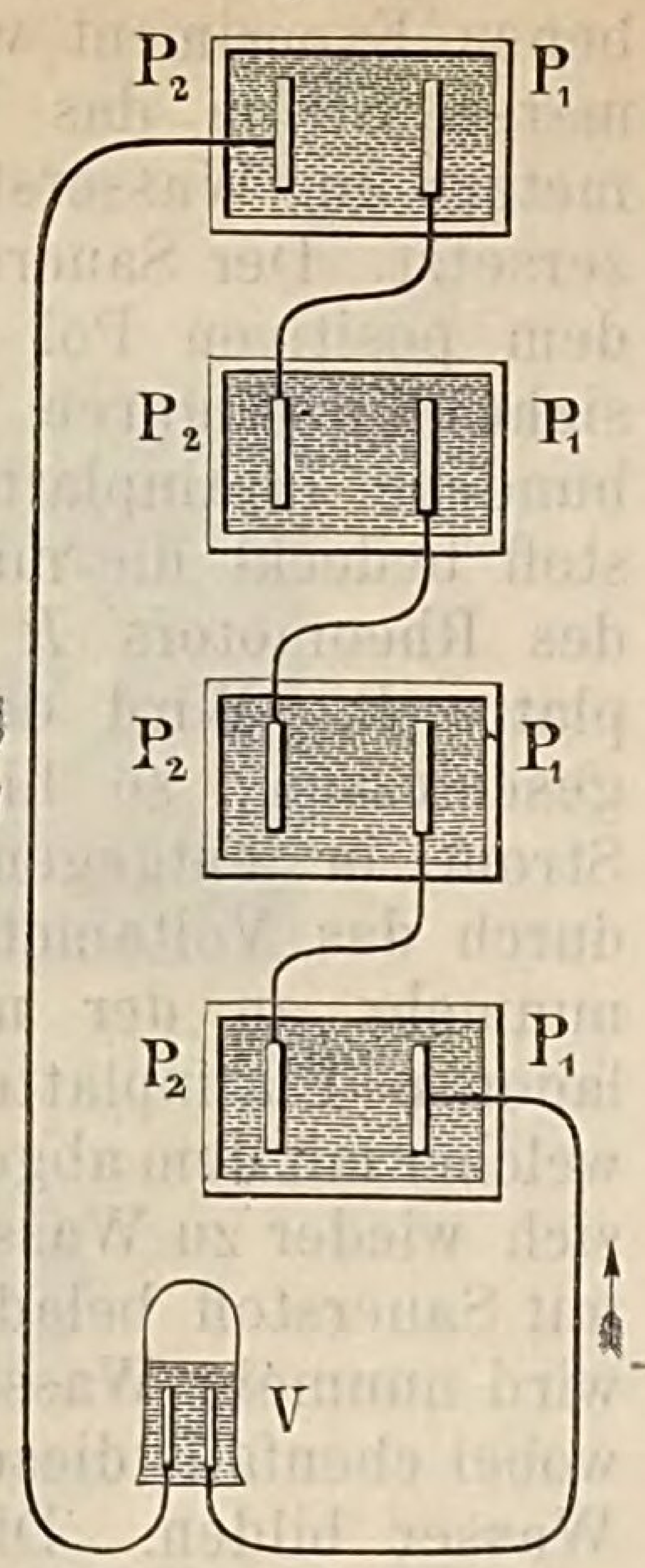
Frage 223. In welcher Weise kann man eine sekundäre Säule durch einen primären Rheomotor laden?

Antwort. Um eine sekundäre Säule, z. B. aus 4 Elementen bestehend, durch einen primären Rheomotor zu laden, schalte man die 4 sekundären Elemente parallel in den Stromkreis des primären Rheomotors G (siehe Antwort auf Frage 138 und Erkl. 189), d. h. man verbinde die Platinplatten P_1 der 4 sekundären Elemente, siehe Figur 137, mit dem einen, die Platinplatten P_2 mit dem andern Pol des Rheomotors G. Hierdurch werden die 4 sekundären Elemente gleichmässig geladen. Schaltet man nun die sekundären Elemente ohne den primären Rheomotor G hintereinander (siehe Figur 138, Antwort auf Frage 138 und Erkl. 188), so erhält man vorübergehend einen

Figur 137.



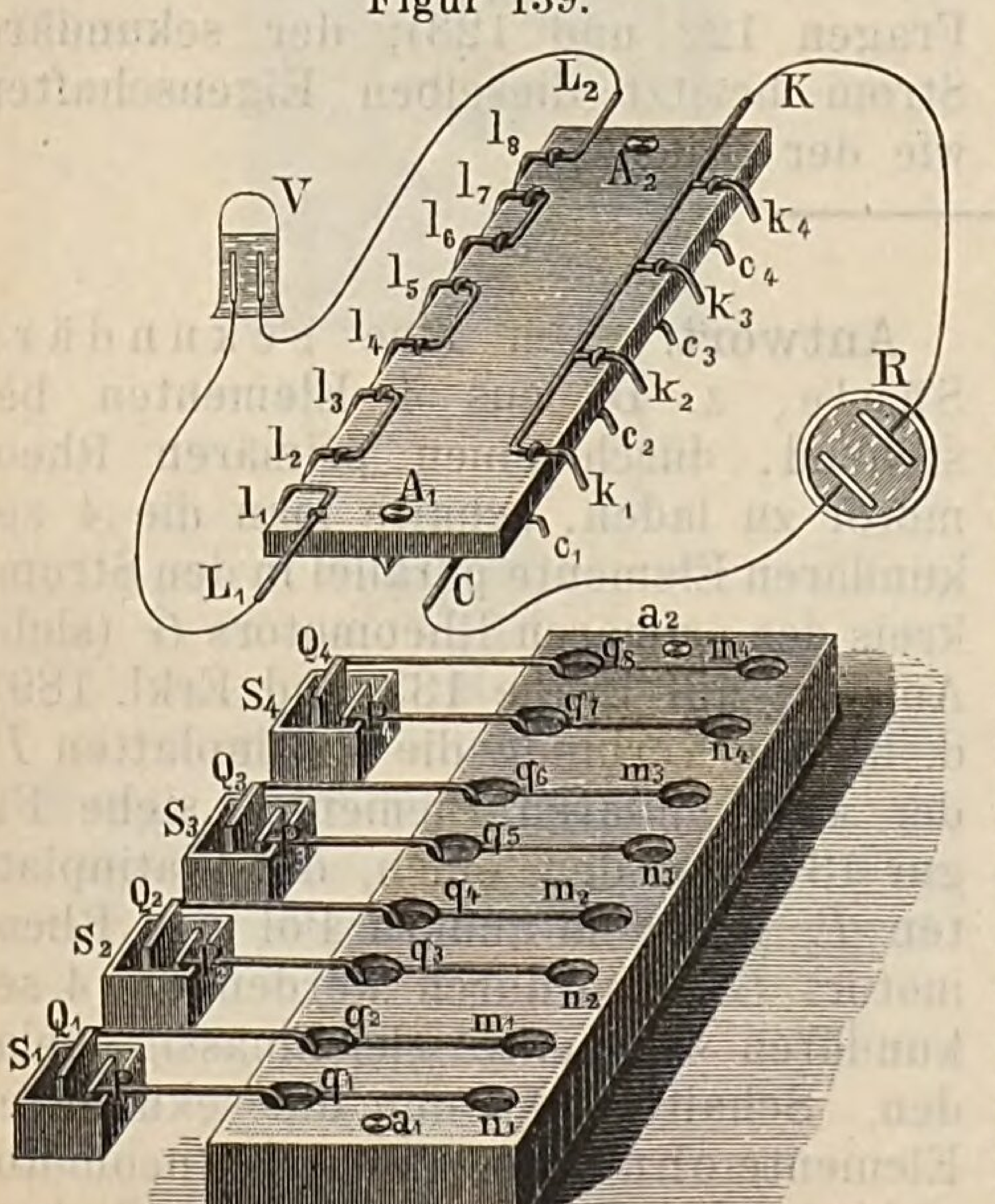
Figur 138.



Strom, welcher eine deutliche Wasserzersetzung hervorbringt, wenn man ein Voltameter *V* in diesen sekundären Stromkreis einschaltet (siehe folgende Antwort).

Frage 224. Worin besteht die Einrichtung der Poggendorffschen Wippe und ihre Anwendung zur Wasserzersetzung durch sekundäre Ströme?

Figur 139.



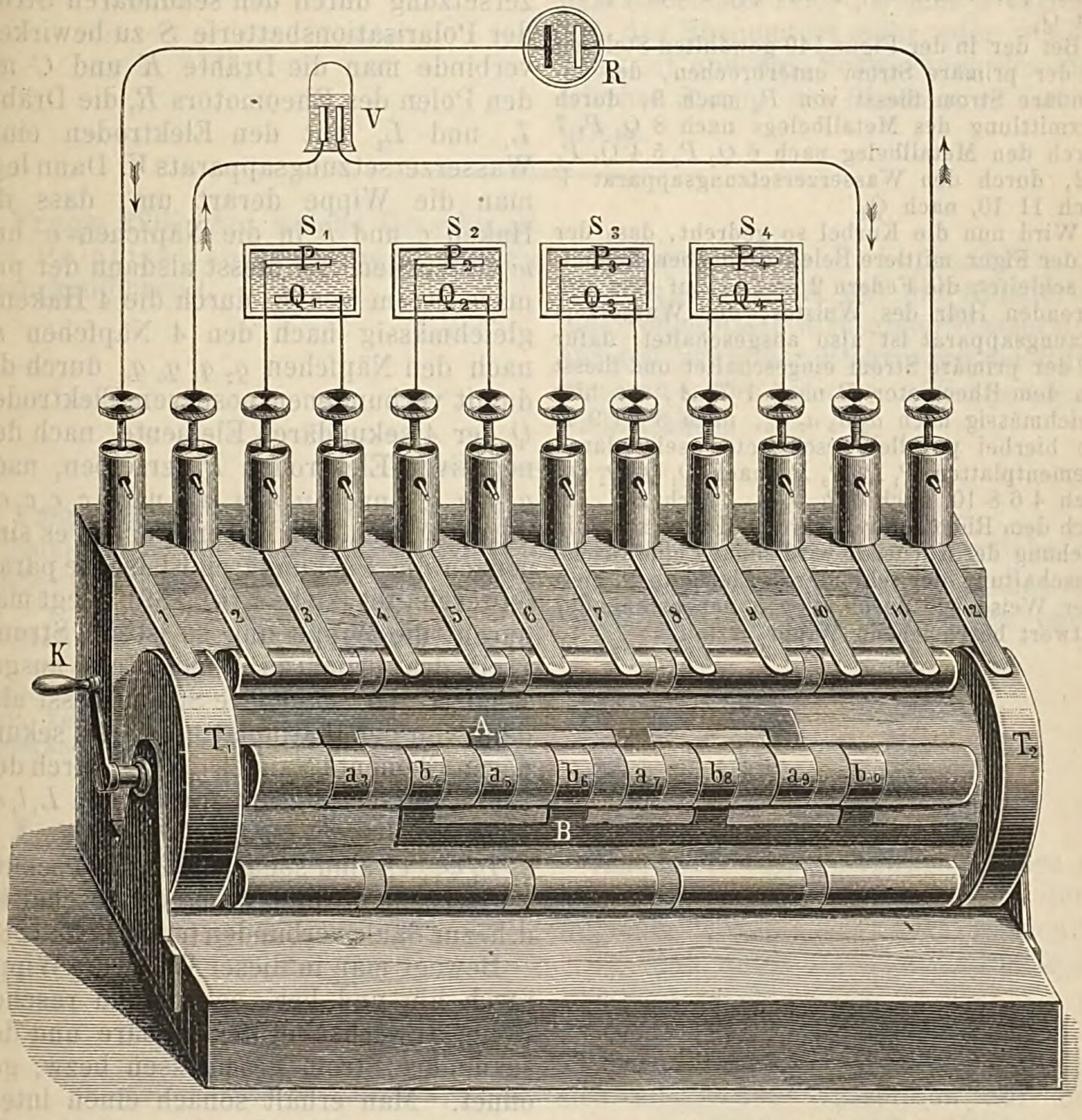
Antwort. Um mit einem Rheomotor, welcher an und für sich keine merkliche Wasserzersetzung auszuüben vermag (siehe Erkl. 331), eine grössere Menge Wasser zu zersetzen, ladet man mit demselben nach voriger Antwort eine sekundäre Säule, bewirkt die Wasserzersetzung durch letztere und führt diese beiden Manipulationen oft und möglichst rasch hintereinander aus. Um die dazu erforderlichen Umschaltungen rasch und sicher auszuführen, bedient man sich der Poggendorffschen Wippe (siehe Erklärung 332). Die Einrichtung derselben besteht in folgendem:

Auf einem Holzbrett, siehe Figur 139, sind zwei Reihen von Löchern ausgebohrt, welche mit Quecksilber gefüllt sind, deren je zwei gegenüberstehende durch einen Kupferdraht verbunden sind. Jeder dieser so gebildeten Quecksilbernäpfe der einen Reihe ist durch einen zweiten Kupferdraht mit der einen Platinplatte eines sekundären Elements *S* verbunden. Auf diesem Holzbrett ruht, mit den Spitzen A_1 A_2 in Lagertellern a_1 a_2 stehend, die eigentliche Wippe, welche jedoch in der Figur 139 der Deutlich-

Erkl. 332. Statt der in nebenstehender Antwort beschriebenen Wippe kann man einen von *J. Müller* angegebenen Umschalter mit Schleifkontakten verwenden, welcher sich durch einfache Handhabung auszeichnet. Derselbe besitzt folgende Einrichtung:

Auf einem Holzbrett, siehe Figur 140, ist eine Walze aus Holz befestigt, welche durch die Kurbel K drehbar ist. Diese Walze besitzt an jedem Ende eine Scheibe T_1 und T_2, keit wegen etwas von der Unterlage entfernt gezeichnet ist. Auf der oberen Seite ist ein dicker Kupferdraht K_1 befestigt, welcher mit den an der Seite angebrachten Kupferhaken k_1 bis k_4 verbunden ist. An der unteren Seite ist ein Kupferdraht C befestigt, welcher in der gleichen Weise mit den Haken c_1

Figur 140.



deren Rand mit Metall belegt ist. Zwischen diesen beiden Scheiben sind auf der Walze der Länge nach 4 Holzwülste befestigt, von welchen zwei (in der Figur 140 der obere und der untere) mit 5 Metallblechen und zwei (in der Figur 140 die mittleren, von welchen nur der eine sichtbar ist) mit 8 Metallblechen belegt sind, welche alle von einander isoliert sind. Die Metallbelege $a_3\,a_5\,a_7\,a_{10}$ sind mit einem auf der Walze befestigten Metallstreifen A, die Belege $b_4\,b_6\,b_8\,b_{10}$ dagegen mit dem Metallstreifen B bis c_4 verbunden ist. Wird die Wippe nach der Seite, an welcher diese Haken c und k angebracht sind, umgelegt, so taucht der Haken c_1 in das Quecksilbernäpfchen n_1, k_1 in m_1, c_2 in n_2, k_2 in m_2, c_3 in n_3, k_3 in m_3, c_4 in n_4, k_4 in m_4 ein.

Auf der andern Seite der Oberfläche der Wippe sind ebenfalls Haken angebracht, deren erster l_1 mit dem Lei-

leitend verbunden. Der Metallstreifen A steht mit dem Metallrand T_1, der Metallstreifen B mit dem Metallrand T_2 in leitender Verbindung. Auf einem hölzernen Postament sind 12 Klemmschrauben aufgestellt, deren jede mit einer metallenen Schleiffeder 1 bis 12 verbunden ist. Die Klemmschrauben 1 und 12 sind mit dem primären Rheomotor R verbunden, 2 und 11 mit dem Wasserzersetzungsapparat V, 3 mit der Platinplatte P_1, 4 mit der Platinplatte Q_1 des sekundären Elements S_1, ebenso 5 mit P_2, 6 mit Q_2, 7 mit P_3, 8 mit Q_3, 9 mit P_4, 10 mit Q_4.

Bei der in der Figur 140 gewählten Stellung ist der primäre Strom unterbrochen, der sekundäre Strom fliesst von P_4 nach 9, durch Vermittlung des Metallbelegs nach 8 Q_3 P_3 7 durch den Metallbeleg nach 6 Q_2 P_2 5 4 Q_1 P_1 3 2, durch den Wasserzersetzungsapparat V nach 11 10, nach Q_4.

Wird nun die Kurbel so gedreht, dass der in der Figur mittlere Beleg nach oben kommt, so schleifen die Federn 2 und 11 auf dem isolierenden Holz des Wulstes, der Wasserzersetzungsapparat ist also ausgeschaltet; dafür ist der primäre Strom eingeschaltet und fliesst von dem Rheomotor R nach 1 T_1 A, von hier gleichmässig nach a_3 a_5 a_7 a_9, nach 3 5 7 9 in die hierbei parallel geschalteten sekundären Elementplatten P_1 P_2 P_3 P_4 nach Q_1 Q_2 Q_3 Q_4, nach 4 6 8 10, nach b_4 b_6 b_8 b_{10}, nach B T_2 12, nach dem Rheomotor R zurück. Durch schnelle Drehung der Kurbel K wird sonach eine rasche Umschaltung der sekundären Elemente in gleicher Weise wie durch die in nebenstehender Antwort beschriebene Wippe erzielt.

tungsdraht L_1, deren letzter l_8 mit dem Leitungsdraht L_2 verbunden ist. Der Haken l_2 ist mit l_3, l_4 mit l_5, l_6 mit l_7 leitend verbunden. Wird die Wippe nach der Seite umgelegt, auf welcher sich diese Haken l befinden, so taucht ein jeder dieser 8 Haken in eines der 8 Quecksilbernäpfchen q ein.

Um mittels dieser Wippe die Wasserzersetzung durch den sekundären Strom der Polarisationsbatterie S zu bewirken, verbinde man die Drähte K und C mit den Polen des Rheomotors R, die Drähte L_1 und L_2 mit den Elektroden eines Wasserzersetzungsapparats V. Dann lege man die Wippe derart um, dass die Haken c und k in die Näpfchen n und m eintauchen. Es fliesst alsdann der primäre Strom von K durch die 4 Haken k gleichmässig nach den 4 Näpfchen m, nach den Näpfchen q_2 q_4 q_6 q_8 durch die damit verbundenen positiven Elektroden Q der 4 sekundären Elemente, nach den negativen Elektroden P derselben, nach q_1 q_3 q_5 q_7, nach $n_1 n_2 n_3 n_4$, nach $c_1 c_2 c_3 c_4$, durch C nach dem Rheomotor R; es sind sonach die 4 sekundären Elemente parallel geschaltet (siehe Erkl. 189). Legt man darauf die Wippe um, so ist der Stromkreis des primären Rheomotors ausgeschaltet; der sekundäre Strom fliesst alsdann von der Platinplatte Q_4 des sekundären Elements S_4 nach q_8 l_8 L_2 durch den Wasserzersetzungsapparat V nach L_1 l_1 q_1 P_1 Q_1 q_2 l_2 l_3 q_3 P_2 Q_2 q_4 l_4 l_5 q_5 P_3 Q_3 q_6 l_6 l_7 q_7 P_4 Q_4, es sind sonach jetzt die 4 sekundären Elemente hintereinander geschaltet, d. h. zur Säule verbunden (siehe Erkl. 188).

Bewegt man in dieser Weise die Wippe rasch hin und her, so wird in rascher Folge abwechselnd der primäre und der sekundäre Strom geschlossen bezw. geöffnet. Man erhält sonach einen intermittierenden (unterbrochenen) sekundären Strom, welcher die Wasserzersetzung in dem Voltameter V bewirkt. Die elektromotorische Kraft dieser sekundären Säule ist grösser als die des primären Elements und überwindet daher die in dem Voltameter auftretende elektromotorische Gegenkraft (siehe die Erkl. 330 und 331).

B). Ueber die Polarisation der Rheomotoren (konstante und inkonstante Elemente).

Frage 225. Was versteht man unter der Polarisation der Rheomotoren?

Antwort. Unter der Polarisation der Rheomotoren versteht man das Auftreten einer elektromotorischen Gegenkraft (siehe Antwort auf Frage 217) in dem Rheomotor selbst, welche je nach der Art des Rheomotors mehr oder weniger stark ist und eine Schwächung des elektrischen Stroms des Rheomotors hervorbringt.

Frage 226. Auf welche Ursache ist die Polarisation der Rheomotoren zurückzuführen?

Antwort. Die Polarisation der Rheomotoren ist auf die Ablagerung elektromotorisch wirksamen Wasserstoffs auf den negativen Elektroden der Rheomotoren (siehe Antwort auf Frage 42) zurückzuführen.

Frage 227. Wie nennt man solche Rheomotoren, welche der Polarisation unterworfen sind?

Erkl. 333. Inkonstant (latein. inconstans, von constare = bestehen) heisst unbeständig, veränderlich; Inkonstanz = Unbeständigkeit, Veränderlichkeit; Konstant = beständig, unveränderlich; Konstanz = Unveränderlichkeit.

Antwort. Rheomotoren, welche der Polarisation unterworfen sind, nennt man inkonstante Rheomotoren (siehe Erkl. 333).

Frage 228. Auf welche Weise kann die Polarisation eines inkonstanten Rheomotors verringert werden?

Antwort. Die Polarisation eines inkonstanten Rheomotors kann durch folgende Mittel verringert werden:

1). Man wählt die negative Platte des Rheomotors (Elements) grösser als die positive, am besten die Oberfläche 8 bis 16 mal so gross; dadurch wird der sich ablagernde Wasserstoff auf einer grösseren Fläche verteilt. [Siehe z. B. das Chromsäure-Element (Antwort auf Frage 75 und Figur 44), die Leclanché-Elemente (Antwort auf Frage 80), das Braunstein-Element von *Gaiffe* (Antwort auf Frage 82)].

2). Durch zeitweiliges Oeffnen des Stromkreises wird die Polarisation vermindert, weil der abgelagerte Wasser-

stoff sich allmählich in der Flüssigkeit des Elements auflöst.

3). In den Elementen von *Smee* (siehe Antwort auf Frage 60), *Tyer*, *Ebner*, *Callan* (siehe Antwort auf Frage 61), wird die Verminderung der Polarisation durch Anwendung platinierter negativer Elektroden erzielt; in ähnlicher Weise wirken die präparierten negativen Elektroden der Elemente von *Poggendorff*, *Drive*, *Münnich*, *Niaudet* (siehe die Antworten auf die Fragen 62—65 und Erkl. 334).

4). Durch die in Antwort auf Frage 135 bezeichneten Manipulationen wird der die Polarisation der Elemente bedingende Wasserstoff mechanisch entfernt.

Erkl. 334. Die Polarisation ist je nach der Natur des zu polarisierenden Metalls verschieden.

Frage 229. Auf welche Weise wird in den sog. konstanten Rheomotoren die Polarisation verhindert?

Antwort. In den sog. konstanten Rheomotoren wird die Polarisation dadurch verhindert, dass die negative Elektrode mit einer die Ablagerung von Wasserstoff auf derselben verhindernden Flüssigkeit umgeben wird. Dies findet statt in den Elementen mit zwei Flüssigkeiten (siehe die Antworten auf die Fragen 86—121).

In den Elementen von *Grove* und *Bunsen* ist die negative Elektrode mit Salpetersäure oder auch mit Chromsäure umgeben, durch welche der sich abscheidende Wasserstoff zu Wasser oxydiert wird (siehe Erkl. 335).

In den Daniell-Elementen ist die negative Kupferelektrode mit Kupfervitriollösung umgeben. Es scheidet sich an ihr bei geschlossenem Stromkreis aus der Kupfervitriollösung Kupfer ab, während der Sauerstoff des hierbei zersetzten Kupfervitriols sich mit dem an der Berührungsfläche der beiden Flüssigkeiten auftretenden Wasserstoff zu Wasser verbindet (siehe Erkl. 336).

Erkl. 335. Salpetersäure und Chromsäure sind starke Oxydationsmittel, d. h. sie geben leicht einen Teil des in ihnen enthaltenen Sauerstoffs ab, welcher sich mit solchen chemischen Körpern, welche die Eigenschaft haben, Sauerstoff aufzunehmen, verbindet. Ausführliches darüber findet man in dieser Encyklopädie in den Lehrbüchern der Chemie von *W. Steffen*.

Erkl. 336. Ausführliches über die chemischen Vorgänge in einem geschlossenen Element (in der geschlossenen Säule, siehe Antwort auf Frage 35) findet man in einem späteren Abschnitt.

11). Ueber den Einfluss der Beschaffenheit der Metalloberflächen auf die elektromotorische Kraft der Elemente.

A). Ueber die Passivität.

Frage 230. Was versteht man in der Kontaktelektricität unter Passivität?

Erkl. 337. Passiv (vom latein. passivus) heisst unthätig, unwirksam; Passivität Zustand der Unwirksamkeit; passivieren einem Körper den Zustand der Unwirksamkeit erteilen.

Antwort. Unter Passivität versteht man in der Kontaktelektricität den Zustand eines Körpers, in welchem dieser Körper chemisch unwirksam ist (siehe Erkl. 337).

Frage 231. Welcher Körper besitzt in ganz besonderem Masse die Eigenschaft, den passiven Zustand anzunehmen und darin zu verharren?

Antwort. In ganz besonderem Masse besitzt das Eisen die Eigenschaft, den passiven Zustand anzunehmen und darin zu verharren.

Frage 232. Auf welche Weise kann das Eisen passiv gemacht werden?

Erkl. 338. Zu nebenstehender Antwort unter 1). sei bemerkt, dass eine Salpetersäure, welche salpetrige Säure enthält, in geringerem Masse die Fähigkeit besitzt, Eisen zu passivieren. Bei dem Passivieren des Eisens durch Salpetersäure wird salpetrige Säure gebildet; werden daher in ein und derselben Salpetersäure eine Anzahl Eisendrähte passiviert, so verliert zuletzt diese Salpetersäure die Eigenschaft, weiteren Eisendrähten Passivität zu erteilen.

Antwort. Das Eisen kann auf sehr verschiedene Weise passiv gemacht werden. Unter anderem kann man verfahren wie folgt:

1a). Man tauche einen blanken Eisendraht in konzentrierte Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,48.

b). Man tauche einen Eisendraht in verdünnte Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,35, ziehe ihn wieder heraus, tauche ihn wieder ein und wiederhole dies so lange, bis er vollständig blank geworden ist (siehe Erkl. 338).

2). Man tauche einen Eisendraht in konzentrierte Schwefelsäure und füge der Schwefelsäure einige Stückchen von chlorsaurem oder jodsaurem Kalium zu.

3). Man erhitze einen Eisendraht bis zum Anlaufen, und zwar

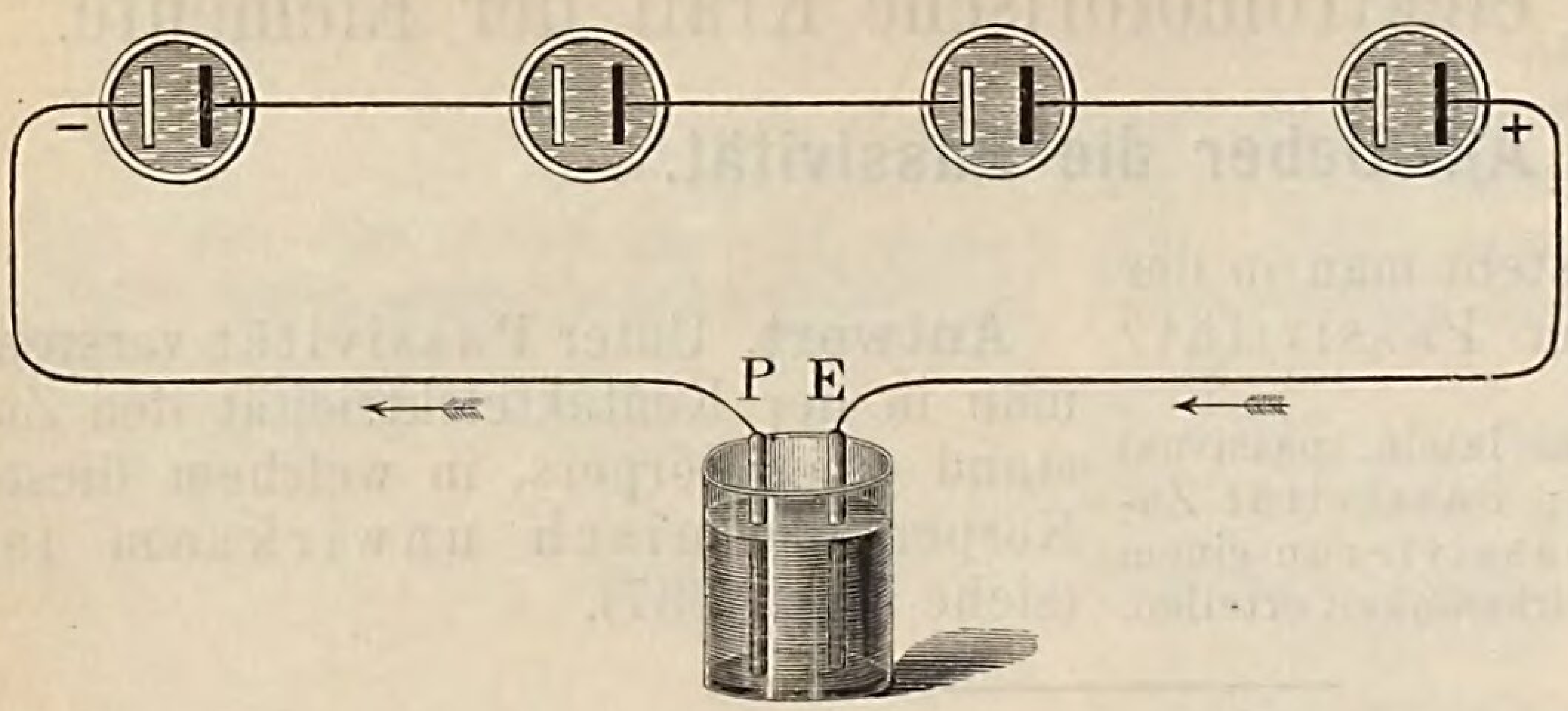
a). bei Luftzutritt,

b). in einer Atmosphäre von Sauerstoffgas,

c). in einer Atmosphäre von feuchtem (Wasserdampf enthaltendem) Wasserstoffgas.

4a). Man stelle in eine Flüssigkeit, welche Sauerstoff enthält, z. B. in Lösungen von Alkalien oder Salzen, einen

Figur 141.



Platindraht P, siehe Figur 141, und einen Eisendraht E, verbinde P mit dem negativen, E mit dem positiven Pol einer galvanischen Säule.

b). Wird bei dem unter a). angegebenen Experiment Schwefelsäure, Phosphorsäure, konzentrierte, gewöhnliche oder ganz verdünnte Salpetersäure angewendet, so muss man den Platindraht zuerst in die Flüssigkeit eintauchen und erst dann den Eisendraht, andernfalls wird der Eisendraht nicht passiv.

5a). Man stelle einen passiven Eisendraht in gewöhnliche [nicht konzentrierte, siehe 1).] Salpetersäure, berühre ihn mit einem zweiten frischen, nicht passiven (aktiven) Eisendraht (siehe Erkl. 339) und senke diesen zweiten aktiven Eisendraht, ohne die Berührung mit dem passiven Draht zu unterbrechen, langsam in die Säure, so wird auch dieser zweite Draht passiv (siehe Erkl. 341).

b). Man mache das eine Ende eines Eisendrahts durch Anlaufenlassen [siehe unter 3).] in einer nicht russenden Flamme (z. B. einer Spiritusflamme) passiv und tauche den Draht, das passive Ende voran, langsam in die unter a). bezeichnete Säure. Auch hierbei wird der ganze eintauchende Teil passiv. Hat man das mit Hülfe der Flamme passiv gemachte Ende in die Säure eingetaucht, so kann man den Draht umbiegen und, entsprechend dem unter a). beschriebenen Experiment, das andre Ende durch Eintauchen in die Säure passiv machen (siehe Erkl. 342).

6). Ein Eisendraht wird ferner passiv durch Eintauchen

a). in sehr konzentrierte Lösung von salpetersaurem Silber (siehe Erkl. 343),

b). in ganz konzentrierte neutrale Lösung (siehe Erkl. 344) von salpetersaurem Kupfer,

c). in eine neutrale oder saure alkoholische Lösung von salpetersaurem Kupfer,

Erkl. 339. Gewöhnliches Eisen nennt man, im Gegensatz zum passiven, aktives Eisen (siehe Erkl. 340).

Erkl. 340. Aktiv (vom latein. activus) heisst thätig, Aktivität Thätigkeit, aktivieren thätig machen.

Erkl. 341. Ein auf die in nebenstehender Antwort unter 5). angegebene Weise passiv gemachter Eisendraht kann in gleicher Weise zum Passivieren eines andern Drahts verwendet werden, letzterer alsdann ebenso zum Passivieren eines andern etc.

Erkl. 342. Taucht man bei dem in nebenstehender Antwort unter 5). beschriebenen Experiment den unter a). erwähnten aktiven Draht oder das in b). erwähnte aktive Ende des umgebogenen Drahts in ein zweites Gefäss von nicht konzentrierter Salpetersäure, so bleibt es aktiv.

Erkl. 343. Zu nebenstehender Antwort unter 6a). sei bemerkt, dass ein Eisendraht auch in verdünnter Lösung von salpetersaurem Silber passiv wird, indes nach einiger Zeit die Passivität wieder verliert.

Erkl. 344. Unter einer neutralen Lösung, einem neutralen Salz etc. versteht man in der Chemie eine solche Lösung, ein solches Salz, welches weder freie Säure noch freie Base enthält. Siehe in dieser Encyklopädie die Lehrbücher der Chemie von *W. Steffen.*

Erkl. 345. Das in nebenstehender Antwort beschriebene Passivieren geht bei verschiedenen Eisensorten mehr oder weniger leicht, beim Stahl besonders leicht vor sich (siehe Erkl. 346).

Erkl. 346. Einige Meteoreisen sind passiv, andre dagegen nicht. Die ersteren werden auf

dieselbe Weise aktiv gemacht wie das passive Eisen überhaupt (siehe nebenstehende Antwort und Erkl. 347).

Erkl. 347. Meteor (griech. μετέωρα) heisst Himmelserscheinung. Meteoreisen ist ein Eisen, welches von andern Himmelskörpern auf die Erde gelangt ist.

d). in eine Lösung von weinsaurem Kupferoxydkali,

e). in die konzentrierten Lösungen von salpetersaurem Blei, Quecksilberoxydul, Aluminium, Nickel, Kobalt, Eisen, Ammonium (siehe Erkl. 345).

Frage 233. Welche Eigenschaften besitzt das passive Eisen im Gegensatz zum aktiven und wie unterscheidet man das passive Eisen von dem aktiven?

Erkl. 348. Die in nebenstehender Antwort erwähnten Eigenschaften des passiven Eisens kommen in den Eisen-Elementen zur Geltung [siehe Antwort auf Frage 105 unter 1). und 2). und die Erkl. 349 und 350].

Erkl. 349. Bei dem Durchgang des elektrischen Stroms durch ein Element mit zwei Flüssigkeiten wird Wasser gebildet. Damit nun in den in voriger Erklärung erwähnten Elementen die Salpetersäure durch diese Wasserbildung nicht zu rasch verdünnt wird, setzt man derselben konzentrierte Schwefelsäure zu, welche der Salpetersäure das Wasser entzieht (siehe Erkl. 76).

Erkl. 350. Beim längeren Gebrauch des Eisen-Elements wird schliesslich trotz der wasserentziehenden Wirksamkeit der Schwefelsäure (siehe vorige Erklärung) die Salpetersäure so stark verdünnt, dass das Eisen leicht aktiv wird und sich unter starker Entwicklung von Dämpfen von Untersalpetersäure in der nun verdünnten Salpetersäure löst (siehe Erkl. 351).

Erkl. 351. Der in voriger Erklärung erwähnte Uebelstand wird vermieden durch Anwendung von Siliciumeisen [siehe Antwort auf Frage 105 unter 3).], welches sich weder in konzentrierter noch in verdünnter Salpetersäure löst.

Erkl. 352. Wird bei dem in nebenstehender Antwort unter 6). beschriebenen Versuch konzentrierte Salpetersäure und ein frischer aktiver Eisendraht angewendet, so wird derselbe nach Antwort auf Frage 232 unter 1 a). darin passiv; der elektrische Strom hat alsdann die in nebenstehender Antwort unter a). bezeichnete Richtung.

Antwort. Das passive Eisen besitzt folgende Eigenschaften:

1). Es wird — im Gegensatz zum aktiven Eisen — von Salpetersäure (wenn sie nicht allzusehr verdünnt ist) nicht angegriffen.

2). Es verhält sich in Säuren gegen aktives Eisen und ebenso gegen Kupfer negativ elektrisch (siehe Erkl. 348).

3). Stellt man daher in ein Gefäss, welches verdünnte Schwefelsäure und einen Kupferdraht enthält, einen mit verdünnter Salpetersäure gefüllten porösen Thoncylinder und senkt in letztere

a). einen passiven Eisendraht, so bildet das Ganze ein galvanisches Element, in welchem der elektrische Strom vom Kupfer durch die Flüssigkeiten zum passiven Eisen, von da durch den äusseren Teil des Stromkreises nach dem Kupfer zirkuliert. Wendet man dagegen

b). einen frischen aktiven Eisendraht in verdünnter Salpetersäure an, so zirkuliert der elektrische Strom von dem aktiven Eisen durch die Flüssigkeiten zum Kupfer und von da durch den äusseren Teil des Stromkreises zum Eisen (siehe Erkl. 352).

Die Stromrichtung in beiden Fällen wird durch ein in den Stromkreis eingeschaltetes Galvanoskop festgestellt (siehe Antwort auf Frage 178); man kann somit durch dieses Experiment feststellen, ob ein Eisendraht aktiv oder passiv ist.

Frage 234. Auf welche Weise kann passives Eisen aktiviert werden?

Antwort. Um passives Eisen zu aktivieren (siehe Erkl. 340), d. h. also, um es wieder in den Zustand zu versetzen, in welchem es seine gewöhnlichen (normalen) elektrischen und chemischen

Eigenschaften besitzt, kann man in folgender Weise verfahren:

1). Man feile oder reibe die Oberfläche eines passiven Drahts sorgfältig ab (siehe Erkl. 353);

2). man erwärme das passive Eisen auf etwa 40° Celsius (siehe Erkl. 354);

3). man stelle den passiven Eisendraht in eine Flüssigkeit und berühre ihn in der Flüssigkeit mit einem Draht von Kupfer, Zinn, Zink, Wismut, Antimon, Blei, aktivem Eisen, d. h. also mit einem Metall, welches gegen passives Eisen positiv elektrisch ist (siehe Erkl. 355);

4). man tauche einen an dem einen Ende passiv gemachten Eisendraht [siehe Antwort auf Frage 232 unter 5b).] mit dem aktiven Ende zuerst und darauf das passive Ende dieses Drahts in verdünnte Salpetersäure, so wird auch das passive Ende aktiv.

Erkl. 353. War der Eisendraht in salpetersaurem Silber passiviert [siehe Antwort auf Frage 332 unter 6 a).], so wird er durch einfaches Abwischen wieder aktiv [siehe nebenstehende Antwort unter 1).]

Erkl. 354. Passiver Stahl bedarf einer höheren Temperatur als Eisen, um wieder aktiv zu werden [siehe nebenstehende Antwort unter 2).]

Erkl. 355. Bei der Berührung eines in einer Flüssigkeit stehenden passiven Eisendrahts mit einem Metall, welches gegen passives Eisen negativ elektrisch ist, wird der Eisendraht nicht aktiv (siehe nebenstehende Antw. unter 3).]

Frage 235. Welches ist die Ursache der Passivität des Eisens?

Antwort. Die Ursache der Passivität des Eisens ist jedenfalls in einer Veränderung der Oberfläche begründet.

Man nimmt an, dass sich durch die in Antwort auf Frage 232 beschriebenen Wirkungen auf der Oberfläche des Eisens eine dünne Schicht von Eisenoxyduloxyd bildet, welche negativ elektrisch ist und von Salpetersäure nicht gelöst wird, so dass sie das von ihr umhüllte Eisen gegen die Einwirkung der Säure schützt (siehe Erkl. 356).

Alle Einwirkungen, welche die den passiven Eisendraht umhüllende Oxyduloxydschicht zerstören, machen das Eisen wieder aktiv (siehe Erkl. 357).

Erkl. 356. Die in nebenstehender Antwort erwähnte Bildung von Eisenoxyduloxyd (eine Verbindung von Eisen mit Sauerstoff) ist bei allen den in Antwort auf Frage 232 bezeichneten Reaktionen wahrscheinlich. Das passive Eisen ist trotzdem blank und zeigt keine sichtbare Veränderung der Oberfläche, weil die dasselbe passiv machende Oxyduloxydschicht sehr dünn ist.

Erkl. 357. Das Eisen verbindet sich mit einem Teil des Sauerstoffs der Salpetersäure, in welche es eintaucht [siehe Antwort auf Frage 232 unter 1).], mit dem Sauerstoff der Luft beim Erhitzen [Anlaufenlassen, siehe Antwort auf Frage 232 unter 3).], mit einem Teil des Sauerstoffs von sauerstoffhaltigen Flüssigkeiten, in welche vom Eisen aus ein elektrischer Strom eintritt [siehe Antwort auf Frage 232 unter 4). und Erkl. 358] u. s. f. In allen diesen Fällen, so nimmt man an, wird ein die Passivität bedingender Ueberzug von Eisenoxyduloxyd gebildet.

Erkl. 358. Bei dem in Antwort auf Frage 232 unter 4). und in voriger Erklärung erwähnten Experiment bildet das Eisen, da es mit dem positiven Pol der Säule, siehe Figur 141, verbunden ist, diejenige Elektrode, an welcher bei der Zersetzung der Flüssigkeit durch den elektrischen Strom Sauerstoff abgeschieden wird (siehe Erkl. 217).

Frage 236. Welche Metalle ausser dem Eisen haben ebenfalls die Fähigkeit, passiv zu werden?

Antwort. Ausser dem Eisen, jedoch in geringerem Grade als das Eisen, haben noch die Metalle Nickel, Kobalt, Zinn, Wismut, Kupfer, Aluminium die Fähigkeit, passiv zu werden.

Frage 237. Was lässt sich über die Passivität der in voriger Antwort genannten Metalle im allgemeinen aussagen?

Antwort. Ueber die Passivität der in voriger Antwort genannten Metalle lässt sich folgendes aussagen:

1a). Wird Nickel oder Kobalt durch Eintauchen in rauchende Salpetersäure passiv gemacht, so verschwindet die Passivität bald wieder.

b). Werden diese beiden Metalle in einer Spiritusflamme oder in einem Kohlenfeuer bis zum Anlaufen erhitzt, so ist ihre dadurch erzielte Passivität beständiger.

2a). Wird Zinn durch Eintauchen in Salpetersäure passiv gemacht, so wird es, wenn es an die Luft gebracht wird, sofort wieder aktiv.

b). Wird Zinn durch Berühren mit Platin in Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,42 passiv gemacht, so wird es leicht wieder aktiv.

3). Wismut kann beim Berühren mit Platin [siehe Antwort auf Frage 232 unter 5a).] in konzentrierter Salpetersäure passiv gemacht werden; es verliert jedoch bald diese Eigenschaft wieder.

4a). Kupfer ist bei Berührung mit Platin in Salpetersäure passiv (es wird nicht angegriffen).

b). Wird Kupfer in Verbindung mit dem positiven Pol einer galvanischen Säule in eine Mischung von Salpetersäure und Schwefelsäure gestellt und der elektrische Strom geschlossen, so ist es passiv. Bei grösserer Intensität des elektrischen Stroms ist das gleiche der Fall, wenn Schwefelsäure ohne Salpetersäure angewendet wird.

5a). Aluminium ist in Salpetersäure passiv (siehe Erkl. 359),

b). in Alkalien dagegen ist es aktiv.

Erkl. 359. Zu nebenstehender Antwort unter 5). sei folgendes erwähnt:

Wird eine Aluminiumplatte in konzentrierter Salpetersäure einer Aluminiumplatte in verdünnter Natronlauge oder Salzsäure gegenübergestellt, so bildet die erstere Platte die negative, die letztere Platte die positive Elektrode (siehe das Aluminium-Element von *Wöhler* in Antwort auf Frage 115).

B). Ueber die Erregung elektrischer Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen zweier Elektroden in dieselbe Flüssigkeit.

Frage 238. Was lässt sich im allgemeinen über das elektromotorische Verhalten zweier Elektroden aus gleichem Metall aussagen, welche nacheinander in ein und dieselbe Flüssigkeit getaucht werden?

Antwort. Ueber das elektromotorische Verhalten zweier Elektroden aus gleichem Metall, welche nacheinander in ein und dieselbe Flüssigkeit getaucht werden, lässt sich im allgemeinen folgendes aussagen:

1). Werden zwei Stücke von einem und demselben Metall in ein und dieselbe Flüssigkeit getaucht, jedoch nicht zu gleicher Zeit, so tritt eine elektromotorische Kraft auf; die beiden Metallstücke bilden mit der Flüssigkeit ein galvanisches Element (siehe Erkl. 360).

2). Bei ungleichzeitigem Eintauchen zweier Stücke aus dem gleichen Metall ist bei fast allen Metallen das zuerst eingetauchte Stück in verdünnten Säuren oder in alkalischen Lösungen positiv elektrisch (siehe Erkl. 361).

Erkl. 360. Die in nebenstehender Antwort bezeichnete Thatsache ist bei fast allen Metallen erwiesen.

Erkl. 361. Der in nebenstehender Antwort unter 2). erwähnten Angabe *Fechners* stehen andre Angaben gegenüber, welche derselben teilweise widersprechen.

Frage 239. Welche Ursache wird für das in voriger Antwort bezeichnete Verhalten der Metalle angegeben?

Antwort. Als Ursache für das in voriger Antwort bezeichnete Verhalten der Metalle wird angegeben, dass die Oberflächen der Metalle durch längere Berührung mit Flüssigkeiten verändert werden (siehe Erkl. 362).

Erkl. 362. Verbindet man zwei Drähte aus gleichem Metall mit einem Galvanoskop (siehe Antwort auf Frage 175), senkt sie beide gleichzeitig in eine Flüssigkeit, nimmt alsdann den einen heraus und senkt ihn wieder ein, so erhält man einen Strom, welchen das Galvanoskop anzeigt.

C). Ueber die Erregung elektrischer Ströme durch Erhitzung einer von zwei gleichartigen Elektroden.

Frage 240. Wie kann man darthun, dass das elektromotorische Verhalten einer Elektrode nach dem Erwärmen derselben sich verändert?

Antwort. Um darzuthun, dass das elektromotorische Verhalten einer Elektrode sich nach dem Erwärmen verändert, kann man verfahren wie folgt:

1). Man hebe von zwei in Wasser stehenden Kohlencylindern den einen heraus, glühe ihn aus, lasse ihn erkalten und tauche ihn wieder ein. Er zeigt sich nunmehr positiv gegen den andern Kohlencylinder.

2). Eine ähnliche Erscheinung findet bei Platinstäben statt, und zwar zeigt

sich hierbei der erhitzte Platinstab gegen den unveränderten:

a). positiv, wenn er auf 100° Celsius erhitzt wurde;

b). negativ, wenn er längere Zeit erhitzt wurde;

c). positiv, wenn er bis zur Dunkelrotglut erhitzt war;

d). negativ, wenn er bis zur Weissglut erhitzt war (siehe Erkl. 363).

Erkl. 363. Aehnlich, wie in nebenstehender Antwort unter 2). angegeben, verhält sich ein Platinstab, welcher aus verdünnter Schwefelsäure herausgenommen, abgewaschen, erhitzt und wieder in die Säure zurückgebracht wird.

Frage 241. Wie wird die in voriger Antwort erwähnte Erscheinung erklärt?

Antwort. Zur Erklärung der in voriger Antwort erwähnten Erscheinung nimmt man an, dass die Oberfläche der erhitzten Elektrode verändert wird, und dass durch diese veränderte Oberfläche das elektromotorische Verhalten bedingt wird.

D). Ueber die Erregung elektrischer Ströme durch mechanische Einwirkungen auf eine von zwei Elektroden aus gleichem Metall.

Frage 242. Durch welche mechanischen Einwirkungen auf eine von zwei gleichartigen Elektroden kann ein elektrischer Strom erregt werden?

Antwort. Stehen zwei gleichartige Platten von demselben Metall in einer und derselben Flüssigkeit, und sind dieselben mit einem Galvanoskop (siehe Antwort auf Frage 175) verbunden, so zeigt das Galvanoskop in vielen Fällen die Entstehung eines elektrischen Stroms an, wenn die eine dieser Platten geschüttelt oder gedrückt wird (siehe Erkl. 364).

Erkl. 364. Zur Erklärung der in nebenstehender Antwort angedeuteten Erscheinungen nimmt man an, dass durch das Schütteln oder Drücken eine Veränderung der Metalloberfläche bewirkt wird, welche die Entstehung des elektrischen Stroms verursacht.

E). Ueber die Erregung elektrischer Ströme durch Bestrahlung einer von zwei Elektroden aus gleichem Metall.

(Photochemische Ströme.)

Frage 243. Durch welche Experimente kann man darthun, dass durch Bestrahlung (Beleuchtung) einer von zwei gleichartigen Elektroden ein elektrischer Strom erregt wird?

Antwort. Werden zwei gleichartige (siehe Erkl. 52) Platten aus demselben Metall in ein und dieselbe Flüssigkeit getaucht, und wird nur die eine dieser Platten dem Sonnenlicht ausgesetzt, so entsteht in vielen Fällen ein elektrischer Strom, dessen Vorhandensein

und Richtung durch ein empfindliches Galvanoskop (siehe die Antworten auf die Fragen 175 und 178) nachgewiesen werden kann. Die auf diese Weise erregten elektrischen Ströme werden photochemische Ströme genannt (s. Erkl. 365). Dies kann man darthun, wie folgt:

1). Man fülle einen durch eine poröse Wand in zwei Abteilungen geteilten, durch Bedeckung mit Brettchen vor dem Zutritt des Lichts geschützten Kasten mit einer Flüssigkeit, z. B. verdünnte Salpetersäure, und stelle in jede dieser beiden Abteilungen je eine Gold- oder Platinplatte. Entfernt man die Bedeckung der einen Abteilung, so entsteht (bei geschlossenem Stromkreis) ein elektrischer Strom, welcher je nach der angewendeten Flüssigkeit in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung zirkuliert, und zwar ist die Stärke des Stroms verschieden, je nachdem das Sonnenlicht direkt auf die eine Platte fiel oder durch Vermittlung gefärbten Glases. Bei Anwendung des direkten Sonnenlichts ist der elektrische Strom am stärksten; wird das Sonnenlicht durch ein violettes Glas auf die Platte gelenkt, so ist der dabei entstehende Strom schwächer, noch schwächer ist er bei Anwendung eines blauen Glases, bei Anwendung roter, grüner oder gelber Gläser entsteht kein durch ein Galvanoskop nachweisbarer elektrischer Strom (siehe Erkl. 366).

2). Ebenso verhalten sich Silberplatten in verdünnter Schwefelsäure. Die bestrahlte Silberplatte wird hierbei positiv gegen die nicht bestrahlte.

3). In sehr verdünnten Säuren wird von zwei Messingplatten die bestrahlte negativ gegen die unbestrahlte.

4). Von zwei mit Chlorsilber überzogenen Silberplatten, welche in sehr verdünnter Schwefelsäure stehen, wird die lichtbestrahlte Platte positiv gegen die unbestrahlte, wenn die Platten mit ihrem Ueberzug vorher auf 150—200° Celsius erhitzt worden waren. Waren jedoch die Platten nicht erhitzt worden, so verhalten sie sich umgekehrt (siehe Erkl. 368).

Erkl. 365. Ein photochemischer Strom (vom griech. φῶς = Licht) ist ein elektrischer Strom, welcher durch die chemische Wirkung des Lichts erregt wird.

Erkl. 366. Aehnlich wie die gefärbten Gläser (siehe nebenstehende Antwort) verhalten sich die verschiedenen Farben des Sonnenspektrums. Die violetten Strahlen derselben wirken am stärksten, die blauen weniger stark, die roten äussern keine Wirkung (siehe Erkl. 367).

Erkl. 367. Beim Durchgang des Sonnenlichts durch ein Glasprisma wird das Sonnenlicht gebrochen; die verschiedenen Farben, aus welchen das Sonnenlicht zusammengesetzt ist, erscheinen alsdann getrennt in dem sogen. Spektrum, und zwar in der Reihenfolge rot, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett. Diese Farben werden die Regenbogenfarben, die prismatischen Farben oder die einfachen Farben genannt. Ausführliches darüber findet man in dieser Encyklopädie in *Kleyers* Lehrbuch der Optik.

Erkl. 368. Wärmestrahlen wirken in ähnlicher Weise wie Sonnenstrahlen (siehe nebenstehende Antwort).

Frage 244. Welches ist die Ursache der in voriger Antwort erläuterten photochemischen Ströme?

Antwort. Die Ursache der in voriger Antwort erläuterten photochemischen Ströme ist die Veränderung der Beschaffenheit der Oberfläche der Metalle durch die Bestrahlung.

12). Ueber die Wirkungen des elektrischen Stroms im allgemeinen.

Frage 245. Welche Wirkungen kann der elektrische Strom hervorbringen?

Antwort. Die Wirkungen, welche der elektrische Strom hervorbringen kann, sind die folgenden:

1). Wirkungen, welche der elektrische Strom in dem von ihm durchflossenen Stromkreise hervorbringt, und zwar

a). Wärmewirkungen,
b). Lichtwirkungen,
c). chemische Wirkungen,
d). physiologische Wirkungen.

2). Wirkungen, welche der elektrische Strom ausserhalb seines Kreises hervorbringt, und zwar

a). Wirkungen auf andere Stromkreise (dynamische Wirkungen),
b). magnetische Wirkungen,
c). Wirkungen auf geschlossene Leiter (induzierende Wirkungen) (s. Erkl. 369).

Erkl. 369. Ausführliches über die in nebenstehender Antwort unter 1). genannten Wirkungen des elektrischen Stroms findet man in den folgenden Abschnitten dieses Lehrbuchs, über die unter 2). genannten Wirkungen in dieser Encyklopädie in *May*s Lehrbüchern der Elektrodynamik, des Elektromagnetismus und der Induktionselektricität.

13). Ueber die Wärmewirkungen des elektrischen Stroms.

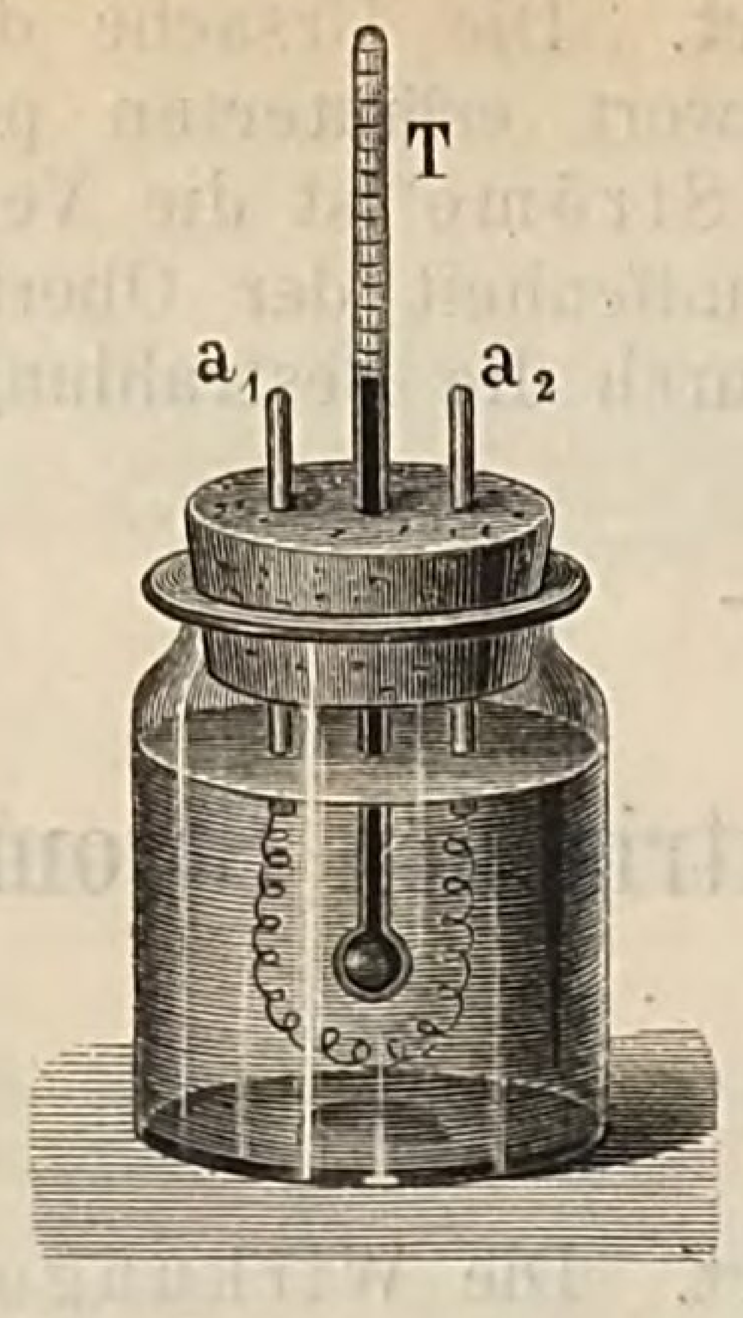
Frage 246. In welcher Weise treten die Wärmewirkungen eines elektrischen Stroms auf?

Antwort. Wird ein Leiter von einem elektrischen Strom durchflossen, so wird dieser Leiter erwärmt.

Frage 247. Wie kann man die Wärmeentwicklung in einem von einem elektrischen Strom durchflossenen Leiter experimentell darthun?

Antwort. Um die Wärmeentwicklung in einem von einem elektrischen Strom durchflossenen Leiter experimentell darzuthun, kann man sich des folgenden Apparats bedienen:

Figur 142.



In dem Kork einer Flasche, siehe Figur 142, ist ein Thermometer T und zwei starke Kupferdrähte a_1 und a_2 befestigt. Diese beiden Kupferdrähte sind innerhalb der Flasche durch einen spiralförmig gewundenen Draht verbunden. Die Flasche ist mit möglichst wasserfreiem Alkohol gefüllt.

Verbindet man a_1 und a_2 mit den Polen eines galvanischen Elements, so durchfliesst der elektrische Strom dieses Elements die in der Flasche enthaltene Drahtspirale und erwärmt dieselbe (siehe Erkl. 370). Die entwickelte Wärme teilt sich dem Alkohol mit, dessen Wärmezunahme an dem Thermometer T sich kundgibt (siehe Erkl. 371).

Erkl. 370. Wasserfreier Alkohol ist ein Nichtleiter des elektrischen Stroms, die Stromleitung findet demnach bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Versuch innerhalb der Flasche, siehe Figur 142, nur durch die Drahtspirale statt.

Erkl. 371. Ein Thermometer (Wärmemesser, vom griech. θερμός = warm und μετρόν = Mass) ist ein Instrument zur Messung der Wärme. Ausführliches über das Thermometer findet man in dieser Encyklopädie in *Kleyer*s Lehrbuch der Wärme.

Frage 248. Welche Gesetze wurden in bezug auf die Wärmeentwicklung in einem geschlossenen Stromkreis aufgestellt?

Antwort. In bezug auf die Wärmeentwicklung im geschlossenen Stromkreis wurden folgende Gesetze aufgestellt (siehe Erkl. 372):

1). Die durch die Wirkung des elektrischen Stroms entwickelte Wärmemenge ist abhängig von der Stromstärke, und zwar ist sie um so grösser, je grösser die Stromstärke ist, sie ist um so kleiner, je kleiner die Stromstärke ist.

2). Diese Wärmemenge ist in jedem Stück des Stromkreises abhängig von dem Leitungswiderstand des betreffenden Stücks des Stromkreises; sie ist um so grösser, je grösser der Leitungswiderstand des betreffenden Stücks des Stromkreises ist, sie ist um so kleiner, je kleiner der Leitungswiderstand des betreffenden Stücks des Stromkreises ist.

3). Diese Wärmemenge ist abhängig von der Dauer des elektrischen Stroms; sie ist um so grösser, je länger der elektrische Strom den Stromkreis durch-

Erkl. 372. Die in nebenstehender Antwort nur angedeuteten Beziehungen zwischen der durch einen elektrischen Strom entwickelten Wärme einerseits und der Stromstärke und dem Widerstand andrerseits sind im mathematischen Teil dieses Lehrbuchs genau definiert. Sie bilden zusammen das von *Joule* aufgestellte und nach ihm so benannte Joulesche Gesetz.

Erkl. 373. Wird z. B. [siehe nebenstehende Antwort unter 5).] ein und dasselbe Stück Draht in den Stromkreis zweier Rheomotoren, deren elektromotorische Kräfte verschieden gross, deren Stromstärken jedoch gleich sind, eingeschaltet, so ist die in diesem Drahtstück in beiden Fällen entwickelte Wärmemenge gleich gross (siehe Erkl. 374).

fliesst, sie ist um so kleiner, je kürzer diese Stromdauer ist.

4). Diese Wärmemenge ist unabhängig von der Natur der durchflossenen Leiter.

5). Diese Wärmemenge ist in einem bestimmten Stück des Stromkreises bei gleich bleibender Stromstärke und gleich bleibendem Widerstand stets die gleiche, einerlei wie gross die elektromotorische Kraft im Stromkreis ist (siehe Erkl. 373).

6). Diese Wärmemenge des gesamten Stromkreises ist abhängig von der elektromotorischen Kraft des Stromkreises; sie ist um so grösser, je grösser die elektromotorische Kraft, sie ist um so kleiner, je kleiner die elektromotorische Kraft ist.

Obige Sätze gelten von allen Leitern des elektrischen Stroms. Bei den Leitern erster Klasse (siehe Antwort auf Frage 188) wird die ganze entwickelte Wärmemenge zur Temperaturerhöhung der durchflossenen Leiter verbraucht; bei Leitern zweiter Klasse (siehe Antwort auf Frage 188) wird ein Teil der Wärmemenge zur chemischen Zersetzung dieses Leiters zweiter Klasse verbraucht.

Erkl. 374. Sollen die Stromstärken in zwei Stromkreisen, deren elektromotorische Kräfte verschieden gross sind, gleich sein, so müssten auch die Gesamtwiderstände der beiden Stromkreise verschieden sein, und zwar muss der Gesamtwiderstand des Stromkreises mit grösserer elektromotorischer Kraft grösser sein als der Gesamtwiderstand des Stromkreises mit kleinerer elektromotorischer Kraft (siehe Antwort auf Frage 184). Die Gesamtwärme ist also in dem Stromkreis mit der grösseren elektromotorischen Kraft nach nebenstehender Antwort unter 2). grösser als in dem Stromkreis mit kleinerer elektromotorischer Kraft. In dem in nebenstehender Antwort unter 5). und in voriger Erklärung erwähnten einzelnen Stück der beiden Stromkreise ist die entwickelte Wärmemenge dagegen gleich gross [siehe nebenstehende Antwort unter 6).]

Frage 249. In welcher Weise zeigt sich die Wärmeentwicklung im geschlossenen Stromkreis?

Antwort. 1). Die im geschlossenen Stromkreis entwickelte Wärmemenge bringt eine Temperaturerhöhung der durchflossenen Leiter hervor. Die erwärmten Leiter geben Wärme an die Umgebung ab (siehe Erkl. 375), ihre Temperatur steigt somit bis auf den Temperaturgrad, auf welchem die im Stromkreis entwickelte Wärmemenge gleich ist der Wärmemenge, welche der Leiter an die Umgebung abgibt.

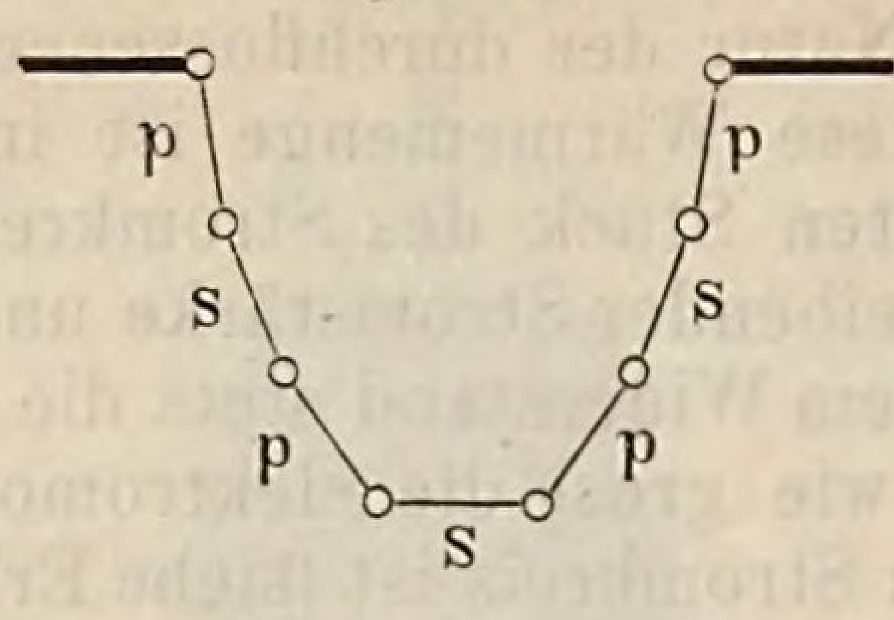
2). Ist die in einem metallischen Leiter entwickelte Wärmemenge gross genug, so wird sie denselben zum Glühen, bezw. Schmelzen, bezw. Verbrennen bringen.

Erkl. 375. Die Wärme eines Körpers kann durch Wärmeleitung und durch Wärmestrahlung einem andern Körper mitgeteilt werden. Die Fähigkeit der Körper, durch Leitung Wärme abzugeben oder aufzunehmen (das Wärmeleitungsvermögen), ist verschieden je nach der Natur der Körper. Körper, welche ein grosses Wärmeleitungsvermögen besitzen, nennt man gute Wärmeleiter; Körper, welche ein geringes Wärmeleitungsvermögen besitzen, nennt man schlechte Wärmeleiter [siehe auch Antwort auf Frage 208 unter 1).]. Ausführliches über die Wärmeleitung und Wärmestrahlung findet man in dieser Encyklopädie in *Kleyers* Lehrbuch der Wärme.

Frage 250. Wie kann man experimentell darthun, dass die in einem bestimmten Stück des Stromkreises entwickelte Wärmemenge um so grösser ist, je grösser der Widerstand dieses Leiterstücks ist?

Antwort. Um experimentell darzuthun, dass die Wärmemenge, welche in einem bestimmten Stück des Strom-

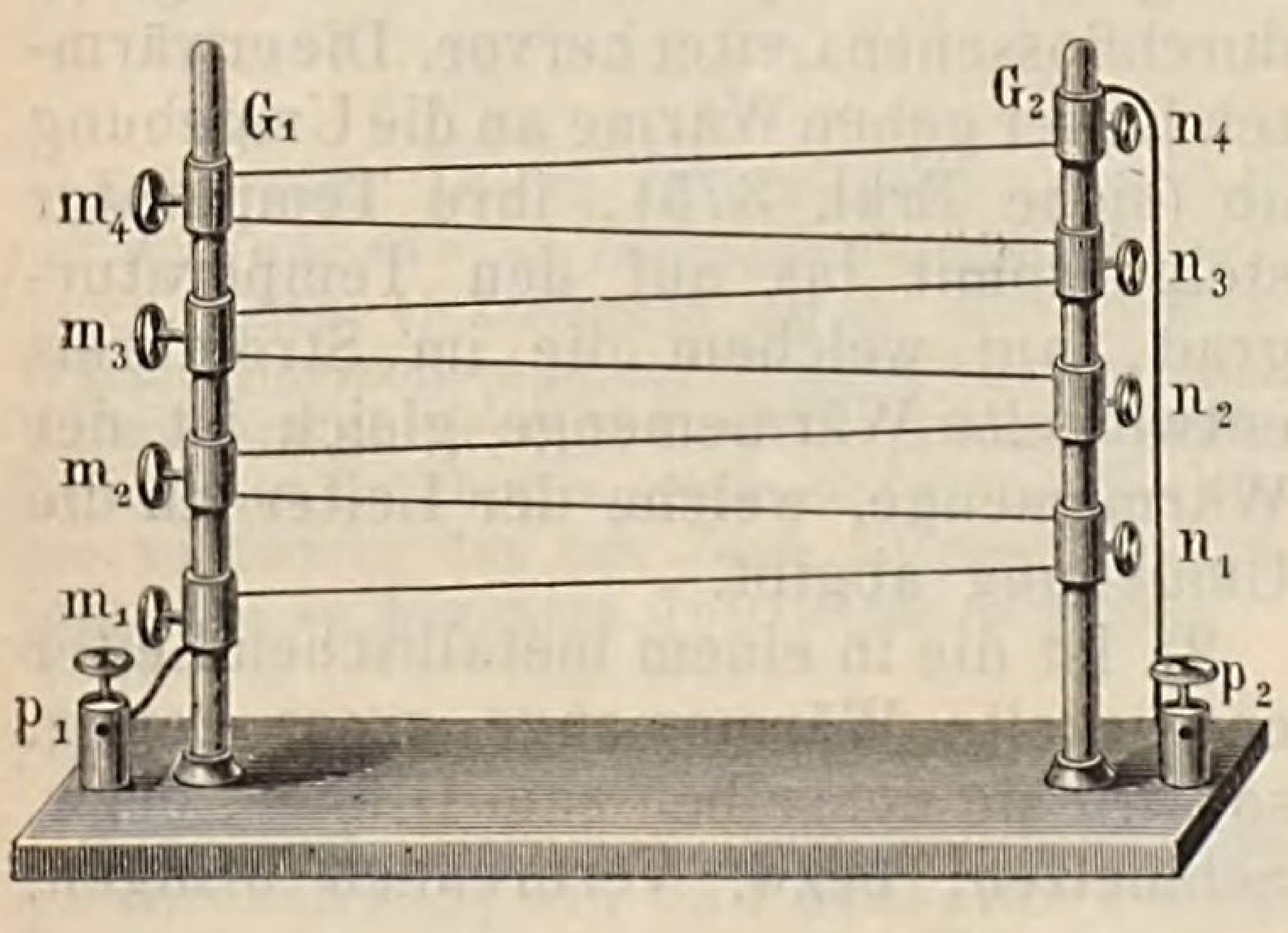
Figur 143.



Erkl. 376. Schaltet man einen Eisendraht in den Stromkreis eines galvanischen Elements oder einer Kette, so kann die in diesem Draht entwickelte Wärmemenge so weit steigen, dass der Draht verbrennt, vorausgesetzt, dass die Länge und der Querschnitt des Drahts der Stromstärke des Elements entsprechend gewählt sind.

Erkl. 377. Ueber die Anwendung des Glühens von Metalldrähten und Kohlenfäden durch die Wirkung des elektrischen Stroms zur Beleuchtung, in der Sprengtechnik, in der Chirurgie, siehe die betreffenden Lehrbücher dieses Werkes.

Figur 144.



Erkl. 378. Bei dem in nebenstehender Antwort unter 2). beschriebenen Experiment ist die Glüherscheinung in der Mitte der Drähte, siehe Figur 144, am stärksten, in der Nähe

kreises entwickelt wird, um so grösser ist, je grösser der Widerstand dieses Stückes ist [siehe Antwort auf Frage 248 unter 2).], kann man verfahren wie folgt:

1). Man verbinde gleichstarke und gleichlange Drahtstücke aus Platin P, siehe Figur 143, und aus Silber S in abwechselnder Reihenfolge zu einer Kette und schalte diese Drahtkette in den Stromkreis eines Rheomotors, der gerade stark genug ist, um die Platindrähtchen zum Glühen zu bringen. Dabei werden die Silberdrähtchen, weil sie einen geringeren Leitungswiderstand besitzen als die Platindrähtchen (siehe Antwort auf Frage 206), bei dieser Stromstärke noch nicht glühen (siehe die Erkl. 376 und 377).

2). Zu dem gleichen Versuch kann man sich auch folgender Einrichtung bedienen:

Auf einem Holzbrett, siehe Figur 144, sind zwei Glasstäbe G_1 und G_2 befestigt, an welchen Messingfassungen in kleinen Zwischenräumen von einander mittels Schrauben angeklemmt sind. Diese Messingfassungen sind durch dünne Drähte von gleicher Länge und gleichem Querschnitt, aber aus verschiedenem Metall in leitende Verbindung gebracht. m_1 ist mit der Klemmschraube p_1, n_1 mit p_2 durch dickere Drähte verbunden.

Diesen Apparat schalte man in den Stromkreis eines Elements mit sehr grossen Platten oder einer Batterie parallel geschalteter Elemente (siehe Antw. auf Frage 138, Figur 90 und Erkl. 189) gleichzeitig mit einem Kurbelrheostat (siehe Antwort auf Frage 198), welcher sehr lange und dicke Drähte besitzt, ein. Der Strom fliesst nun von dem Element durch die eingeschalteten Drähte des Rheostats, nach der einen Klemmschraube des in Figur 144 dargestellten Apparats, nacheinander durch die einzelnen Drähte desselben nach dem Element zurück. Schaltet man nun am Rheostat soviel Widerstand aus, dass der am Apparat ausgespannte, am schlechtesten leitende Draht gerade anfängt zu glühen, so werden die Drähte aus besser leitenden Metallen noch nicht glühen.

der Messingfassungen glühen sie nicht, weil dieselben die entwickelte Wärme durch Leitung aufnehmen. Sind daher die Drähte nur kurz, so braucht man wegen der hierbei stattfindenden stärkeren Wärmeableitung eine grössere Stromstärke, um das Glühen dieser kurzen Drähte hervorzubringen.

Vermehrt man nun die Stromstärke durch allmähliches Ausschalten von Widerstand am Rheostat, so werden die übrigen Drähte nach und nach, und zwar je nach dem Grade ihres Leitungsvermögens, die schlechter leitenden voran, ins Glühen kommen (siehe Erkl. 378).

14). Ueber die Lichtwirkungen des elektrischen Stroms.

A). Ueber den Oeffnungsfunken.

Frage 251. Was versteht man unter dem Oeffnungsfunken?

Antwort. Oeffnet man einen Stromkreis an einer beliebigen metallischen Stelle, so entsteht im Augenblick der Trennung ein Funken, welcher daher der Oeffnungsfunken genannt wird.

Frage 252. Durch welche Experimente kann man den Oeffnungsfunken besonders deutlich zeigen?

Antwort. Um den Oeffnungsfunken deutlich wahrzunehmen, verbinde man

1). den einen Poldraht einer galvanischen Säule von 6—8 Elementen mit einer Feile und fahre mit dem freien Ende des andern Poldrahts auf der Feile hin und her. Dabei wird in schneller Aufeinanderfolge der Strom geschlossen und geöffnet, die rasch aufeinander folgenden Oeffnungsfunken bilden einen Funkenregen, welcher durch verbrennende Eisenteilchen gebildet wird.

2). Man senke die Poldrähte der galvanischen Säule beide in dasselbe Gefäss voll Quecksilber und ziehe den einen Draht wieder heraus. Hierbei ist der Oeffnungsfunken glänzend weiss und von einem eigentümlichen peitschenden Geräusch begleitet.

3). Um bei einer Säule von geringer elektromotorischer Kraft den Oeffnungsfunken nachzuweisen, hänge man

a). an den einen Poldraht ein Goldblättchen, bringe den andern Poldraht damit in Berührung und entferne ihn dann wieder,

b). oder man schalte in den Strom-

Erkl. 379. Der Oeffnungsfunken wurde von *Cruikshank* zwischen einem Metalldraht und Wasser beobachtet. Er tauchte die beiden Poldrähte einer Säule von grosser elektromotorischer Kraft in ein Gefäss mit Wasser. Zog er den positiven Poldraht aus dem Wasser, so zeigte sich eine Art von Lichtbüschel; zog er den negativen Poldraht aus dem Wasser, so zeigte sich ein kleines Lichtkügelchen.

Erkl. 380. Ausführliches über die Entstehung von Induktionsströmen findet man in dieser Encyklopädie in *May*s Lehrbuch der Induktionselektricität.

kreis eine mit isoliertem (mit Seide umsponnenem) Draht umwickelte Spule, welche im Innern ein Bündel Eisendrähte enthält. Durch den beim Oeffnen des Stromkreises entstehenden Induktionsstrom (siehe Erkl. 380) wird alsdann der Oeffnungsfunke verstärkt (siehe Erkl. 379).

Frage 253. Welche Ursache liegt der Bildung des Oeffnungsfunkens zu Grunde?

Antwort. Die Ursache des Oeffnungsfunkens ist folgende:

Bei dem in voriger Antwort beschriebenen Experiment wird im Augenblick des Oeffnens des Stromkreises der Widerstand an der Spitze des erwähnten Poldrahts so stark vermehrt, dass diese Spitze kurz vor der Unterbrechung des Stroms, wenn sie den andern Draht nur noch in wenigen Punkten berührt, ins Glühen gerät, bezw. verbrennt. Bei Eisendrähten ist der Oeffnungsfunken klein und sprühend, bei Zinkdrähten grösser und bläulich, bei Kupferdrähten grünlich (siehe Erkl. 381).

Erkl. 381. Trennt man zwei eiserne Poldrähte in sehr stark luftverdünntem Raum, so ist der Oeffnungsfunke nicht sprühend, weil das Eisen alsdann nur glüht und nicht verbrennen kann (siehe Erkl. 382).

Erkl. 382. Zu jeder Verbrennung ist Sauerstoff (welcher auch ein Bestandteil der Luft ist) erforderlich. In sehr stark luftverdünntem Raum ist der zur Verbrennung nötige Sauerstoff nicht genügend vorhanden.

B). Ueber den Schliessungsfunken.

Frage 254. Was versteht man unter dem Schliessungsfunken?

Antwort. Unter dem Schliessungsfunken versteht man den Funken, welcher zwischen den geöffneten Drähten einer Säule überspringt, ehe sich dieselben noch berührt haben.

Frage 255. Auf welche Weise kann man den Schliessungsfunken erhalten?

Antwort. Um den Schliessungsfunken zu erhalten, muss man eine galvanische Säule von aussergewöhnlich grosser elektromotorischer Kraft anwenden.

Frage 256. Welches ist die Ursache des Schliessungsfunkens?

Antwort. Besitzt die an den Polen einer offenen Säule angehäufte freie Elektricität eine grosse Dichtigkeit (siehe Erkl. 46), so sucht sie sich bei der Annäherung der Poldrähte auszugleichen. Werden daher die Poldrähte einer Säule mit grosser elektromotorischer

Kraft einander genähert, so durchbricht die an den Enden der beiden Pole angehäufte ungleichnamige Elektricität (siehe Erkl. 24) die isolierende Luft (siehe Erkl. 17).

So erhielt *Crosse* bei einer Säule von 1626 Zink-Kupfer-Wasser-Elementen bei einem Abstand der Polenden von 0,025 Millimeter eine fortdauernde Reihe von Schliessungsfunken.

Gassirt erhielt mit einer Säule von 3520 derselben Elemente bei einem Abstand der Polenden von 0,27 bis 0,54 Millimeter eine Funkenentladung, welche 5 Wochen lang ununterbrochen andauerte.

Hittorf erzielte den Schliessungsfunken mit einer Säule von 400 Chromsäure-Elementen (siehe Antwort auf Frage 75) bei einem Abstand von 0,056 Millimeter.

Als *Warren de la Rue* und *Müller* eine Säule von 8000 ihrer Chlorsilber-Elemente (siehe Antwort auf Frage 117) anwandten, ging dem Schliessungsfunken unter zischendem Geräusch und Leuchten ein anhaltender Ausgleich der beiden entgegengesetzten Elektricitäten voraus (siehe Erkl. 383).

Erkl. 383. Bei einer Säule von beispielsweise 12 Groveschen Elementen (siehe Antwort auf Frage 102) können die Polenden nach *Jacobi* bis auf 0,0013 Millimeter genähert werden, ohne dass ein Ausgleich der ungleichnamigen Elektricitäten, d. i. der Schliessungsfunken entsteht.

C). Ueber die Entladungen elektrischer Ströme zwischen flüssigen und metallischen Leitern.

Frage 257. Welches sind die bemerkenswertesten Erscheinungen, welche beim Oeffnen und Schliessen eines Stromkreises zwischen einem flüssigen und metallischen Leiter beobachtet wurden?

Antwort. Wird ein Stromkreis zwischen einem flüssigen und einem metallischen Leiter geöffnet oder geschlossen, so finden einige bemerkenswerte Erscheinungen statt, von welchen einige hier erwähnt sein mögen.

1). Taucht man nach *Cruikshank* die beiden Poldrähte einer Säule von grosser elektromotorischer Kraft in Wasser und hebt den positiven Poldraht wieder heraus, so zeigt sich ein Lichtbüschel; hebt man den negativen Poldraht aus dem Wasser, so zeigt sich dagegen ein kleines Lichtkügelchen.

2). Verbindet man nach *Hare* Chlorcalciumlösung mit dem positiven Pol einer Säule und senkt alsdann den ne-

gativen eisernen Poldraht in die Lösung, so schmilzt dieser Draht.

3). Verbindet man nach *Makrell* den positiven Pol einer Säule mit verdünnter Schwefelsäure und taucht alsdann den negativen Poldraht in die Säure, so verbrennt er, und zwar mit roter Flamme, wenn er aus Eisen, mit blauer Flamme, wenn er aus Kupfer, mit purpurner Flamme, wenn er aus Zink besteht. Ist die Säure mit dem negativen, der Draht mit dem positiven Pol verbunden, so schmilzt er bei der Berührung mit der Flüssigkeit, und bleibt noch rotglühend, wenn er 4—5 Centimeter tief eingetaucht wird (siehe Erkl. 384).

4). Taucht man nach *Planté* in stark angesäuertes Wasser den positiven Poldraht einer Säule von 200 Blei-Accumulatoren (siehe Erkl. 325) und nähert der Flüssigkeit den negativen Poldraht, so schmilzt derselbe, ist das Wasser weniger stark angesäuert, so entladen sich mit knatterndem Geräusch mehrere Minuten lang Funken.

5). Wendet man Kochsalzlösung zu dem unter 4). bezeichneten Experiment an, so bildet sich bei der Berührung der Flüssigkeit mit dem positiven Polende unter starkem Geräusch eine leuchtende Kugel. Wird alsdann das positive Polende von der Lösung entfernt, so vergrössert sich die Kugel bis zu 1 Centimeter Durchmesser. Wird dieses Polende tiefer in die Lösung gesenkt, so reisst sich die Kugel los, bewegt sich nach dem negativen Polende und erzeugt dort eine Explosion und eine Flamme.

Erkl. 384. Verbindet man konzentrierte Schwefelsäure mit dem positiven Pol einer Säule von 40—80 Bunsen-Elementen und nähert dieser Säure einen mit dem negativen Pol verbundenen spitzen Platinstab, so leuchtet die Spitze desselben mit bläulichem sog. Glimmlicht, wobei jedoch der Stab nicht glüht. Die Wasserzersetzung beginnt erst, wenn der Stab tiefer in die Säure eintaucht, zuweilen unter Explosion. Das Glimmlicht verschwindet alsdann.

Hebt man nun den Draht wieder aus der Säure, so bildet sich ein bis zu 1 Centimeter langer blauer Lichtkegel zwischen Säure und Draht. Dabei ist die Säure unter dem Draht vertieft und der Draht beginnt zu schmelzen. Bei umgekehrter Polverbindung ist die Lichtbildung schwächer, beim Eintauchen beginnt die Spitze des Stabs zu glühen und es bilden sich helle Funken zwischen der Stahlspitze und der Säure (siehe Erkl. 385).

Erkl. 385. Aehnliche Erscheinungen wie die in voriger Erklärung beschriebenen zeigen Lösungen von Kochsalz, schwefelsaurem Kali, verdünnter Schwefelsäure. Wird z. B. eine baumwollene Schnur mit verdünnter Schwefelsäure befeuchtet und die beiden mit der galvanischen Säule verbundenen Platindrähte hineingesteckt, so brennen die Drähte Löcher in die Schnur, wobei sich das am positiven Draht gebildete Loch mit gelbrotem, das am negativen Draht gebildete Loch mit bläulichem Licht füllt.

D). Ueber den galvanischen Lichtbogen.

Frage 258. Was versteht man unter dem galvanischen Lichtbogen?

Antwort. Unter dem galvanischen Lichtbogen versteht man eine dauernde Lichterscheinung in der Oeffnungsstelle eines Stromkreises.

Frage 259. Auf welche Weise kann man den galvanischen Lichtbogen hervorbringen?

Antwort. 1). Wird der Stromkreis einer galvanischen Säule zwischen zwei Leitern erster Klasse (siehe Antwort

auf Frage 188) nur so weit geöffnet, als zur Bildung des Oeffnungsfunkens erforderlich ist, so durchbricht der elektrische Strom die isolierende Luftschicht der Oeffnungsstelle, und es bildet sich der galvanische Lichtbogen.

2). Der galvanische Lichtbogen kann auch dadurch gebildet werden, dass man die beiden Pol-Enden der galvanischen Säule entsprechend nahe bringt und nun den Funken aus einer Leydener Flasche (siehe Erkl. 386) von dem einen Pol-Ende auf das andre überspringen lässt.

Erkl. 386. Eine Leydener Flasche ist ein Ansammlungsapparat für die durch Reibung erregte Elektricität (siehe *Kleyer*s Lehrbuch der Reibungselektricität, Seite 150—166).

Frage 260. Welche Bedingung muss eine galvanische Säule erfüllen, damit in ihrem Stromkreis ein Lichtbogen entstehen kann?

Antwort. Damit in dem Stromkreis einer galvanischen Säule ein Lichtbogen entstehen kann, muss die elektromotorische Kraft dieser Säule eine Grösse besitzen, welche durch die Natur der Körper, zwischen denen der Lichtbogen gebildet werden soll, bedingt ist.

Zur Bildung des Lichtbogens zwischen zwei Stücken harter Kohle ist eine Säule mit der elektromotorischen Kraft von mindestens 25 Bunsenschen Elementen (siehe Antwort auf Frage 104) erforderlich, die Bildung des Lichtbogens zwischen Messing oder Kupfer erfordert mindestens eine Säule mit der elektromotorischen Kraft von 20, zwischen Silber von 12 Bunsenschen Elementen.

Frage 261. Was versteht man unter dem galvanischen Kohlenlicht, und welcher Einrichtung bedient man sich zur Herstellung desselben?

Antwort. Unter dem galvanischen Kohlenlicht versteht man einen zwischen Kohlenspitzen hervorgebrachten Lichtbogen.

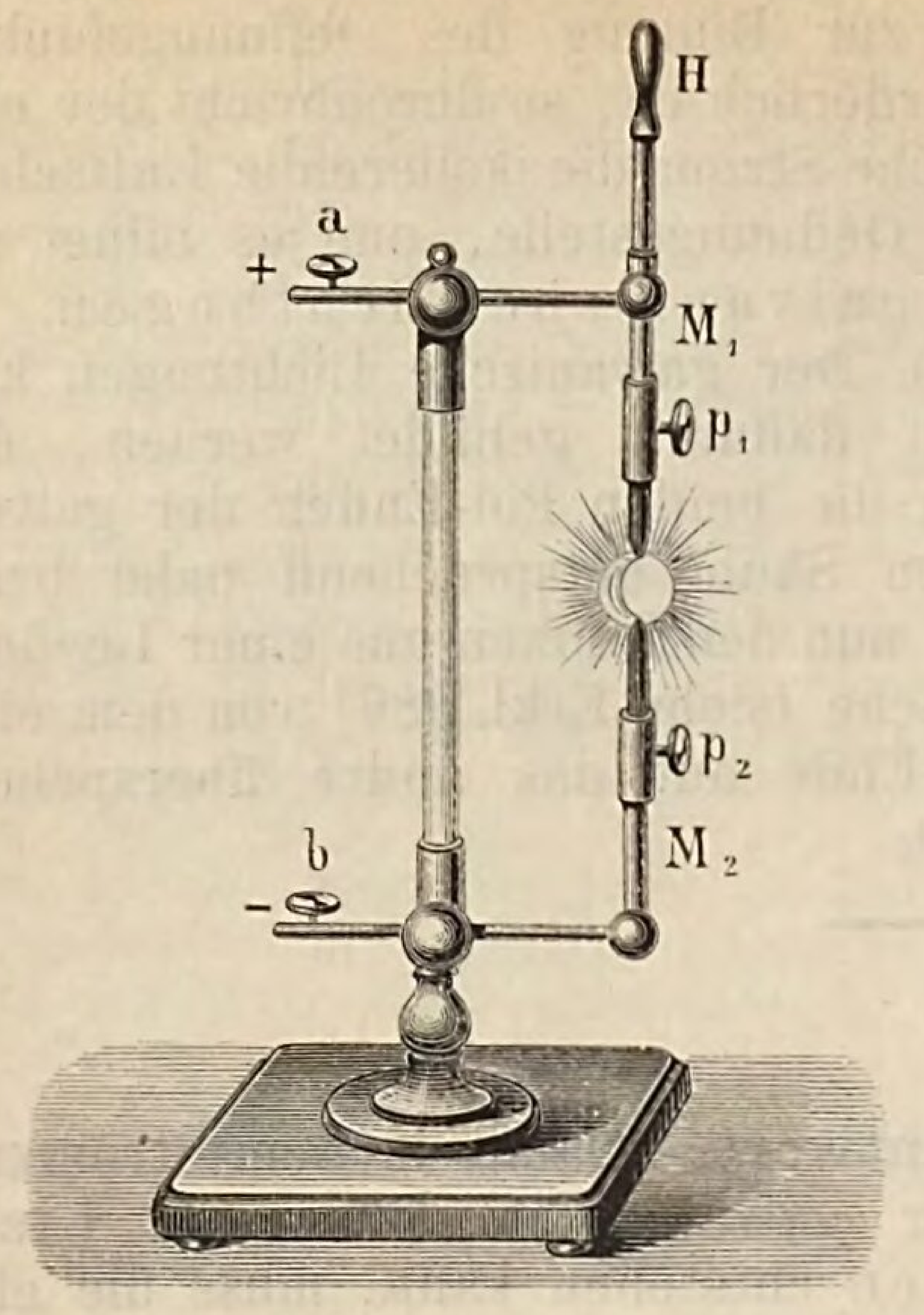
Eine der einfachsten Einrichtungen zur Herstellung desselben besteht in folgendem:

Eine Säule aus Holz, siehe Figur 145, trägt oben und unten Messingfassungen. An der oberen Fassung ist an einem horizontalen Arm eine verschiebbare Messingstange M_1 befestigt, welche oben einen hölzernen Handgriff H, unten eine

Erkl. 387. Das in nebenstehender Antwort beschriebene elektrische Kohlenlicht (siehe Erkl. 393) wird in sogen. Bogenlampen erzeugt und zur Beleuchtung verwendet. Ausführliches über die Bogenlampen und deren verschiedene Einrichtungen findet man in dieser Encyklopädie in *May*s Lehrbuch der elektrischen Beleuchtung.

Erkl. 388. Der galvanische Lichtbogen soll von *Courtet* im Jahre 1802 zuerst beobachtet worden sein (siehe Erkl. 389).

Figur 145.



Klemmschraube p_1 trägt. Die untere Fassung trägt eine feste senkrechte Messingstange M_2, an deren oberem Ende die Klemmschraube p_2 befestigt ist. *a* und *b* sind die Klemmschrauben zum Befestigen der Poldrähte einer galvanischen Säule.

In diese Klemmschrauben p_1 und p_2 befestige man je ein cylindrisches am freien Ende zugespitztes Stäbchen von Bunsenscher Kohle oder Retortenkohle (siehe die Erkl. 128 und 131) und schiebe den Messingstab M_1 soweit herab, dass die Spitzen der beiden Kohlenstäbchen sich berühren. Alsdann verbinde man die Klemmschraube *a* mit dem positiven und *b* mit dem negativen Pol einer Säule von 20 bis 50 Bunsenschen Elementen. Zieht man die obere Kohle etwas in die Höhe, so dass zwischen den beiden Kohlenspitzen ein Zwischenraum von wenigen Millimetern gebildet wird, so entsteht der Lichtbogen, welcher ein glänzend weisses Licht ausstrahlt (siehe die Erkl. 387 bis 389).

Erkl. 389. Der Erste, welcher den galvanischen Lichtbogen näher untersuchte, war *Davy*. Derselbe stellte im Jahre 1821 mit einer Säule von 2000 Wollastonschen Elementen (siehe Antwort auf Frage 50) zwischen Kohlenspitzen einen Lichtbogen von 10 Centimeter Länge, im luftverdünnten Raum einen solchen von 18 Centimeter Länge dar.

Erkl. 390. Sir *Humphry Davy*, geb. 17. Dezember 1778 zu Penzance in Cornwall, war Professor in London, lebte dann in Frankreich und Italien und starb in Genf 29. Mai 1829. Derselbe ist berühmt durch seine Forschungen auf dem Gebiete der Chemie und Physik. Seine bekannteste Erfindung ist die nach ihm benannte Davysche Sicherheitslampe für Bergleute (siehe Erkl. 391).

Erkl. 391. Der galvanische Lichtbogen wird auch der Davysche oder Voltasche Lichtbogen genannt (siehe Erkl. 390).

Frage 262. Welche Erscheinungen begleiten im allgemeinen den galvanischen Lichtbogen?

Antwort. Der galvanische Lichtbogen wird im allgemeinen von folgenden Erscheinungen begleitet:

1). Werden die beiden Kohlenspitzen, während der Strom einer starken Säule sie durchfliesst, auseinander gezogen, so geraten sie ins Glühen (siehe Antwort auf Frage 253); die Spitzen der Kohlen verbrennen, und von der einen Spitze fliegen die glühenden und verbrennenden Teilchen nach der andern

Erkl. 392. Die positive Kohle brennt etwa doppelt so rasch ab als die negative Kohle [siehe nebenstehende Antwort unter 1).].

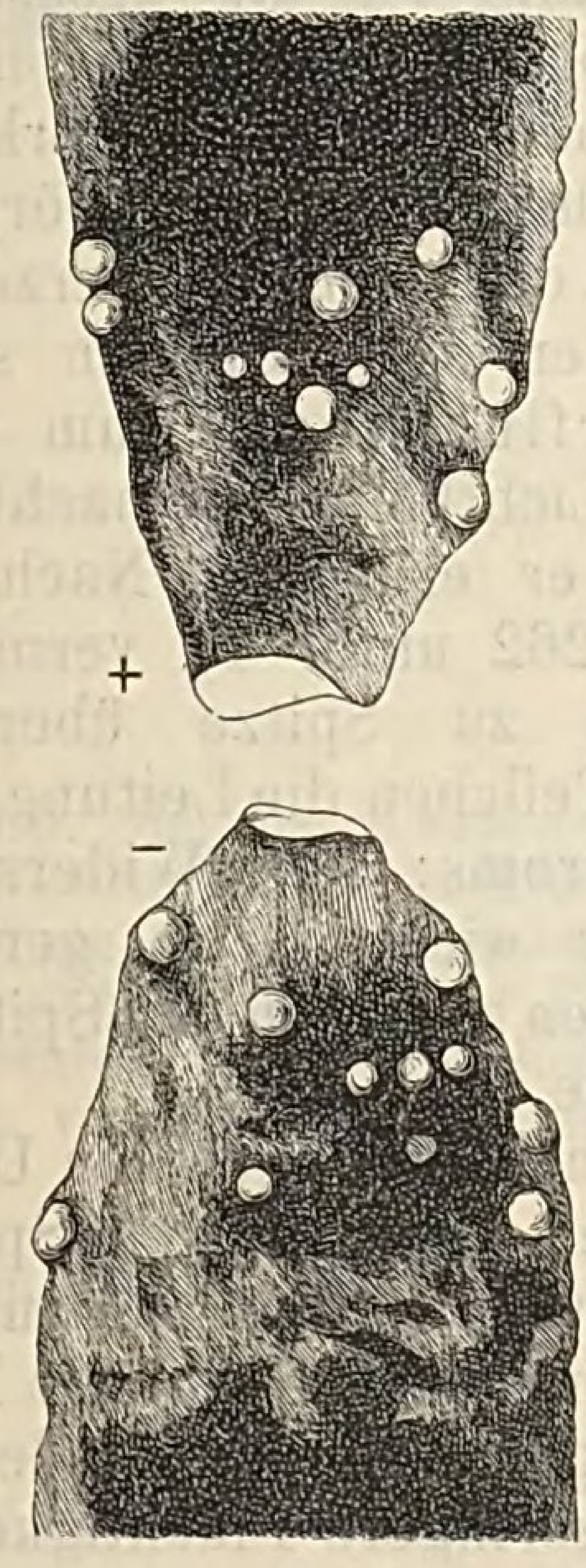
Erkl. 393. Um die in nebenstehender Antwort beschriebenen Erscheinungen beobachten zu können, muss man sich eines dunkeln Glases bedienen, da das Licht so glänzend ist, dass es das Auge blendet. Oder man leitet das Licht durch eine Linse auf eine Wand und be-

obachtet das hierbei entstehende Bild des Lichtbogens (siehe Erkl. 394).

Erkl. 394. Das durch eine einfache Linse erhaltene Bild eines Gegenstandes gibt denselben in umgekehrter Darstellung wieder (siehe *Kleyer*s Lehrbuch der Optik).

Erkl. 395. Das Licht, welches bei dem in nebenstehender Antwort beschriebenen Versuch zwischen Kohlenstäben entsteht, heisst das „Kohlenlicht". Im allgemeinen nennt man das an der Oeffnung eines Stromkreises erzeugte Licht das elektrische „Bogenlicht". Es sei hier jedoch nochmals hervorgehoben, dass nicht der Lichtbogen selbst die eigentliche Lichtquelle ist, sondern dass das glänzende Licht von den glühenden Spitzen der Kohlen (oder auch der Metalle), zwischen welchen der Lichtbogen gebildet wird, ausgeht [siehe nebenstehende Antwort unter 4). u. 5). und Erkl. 396].

Figur 146.



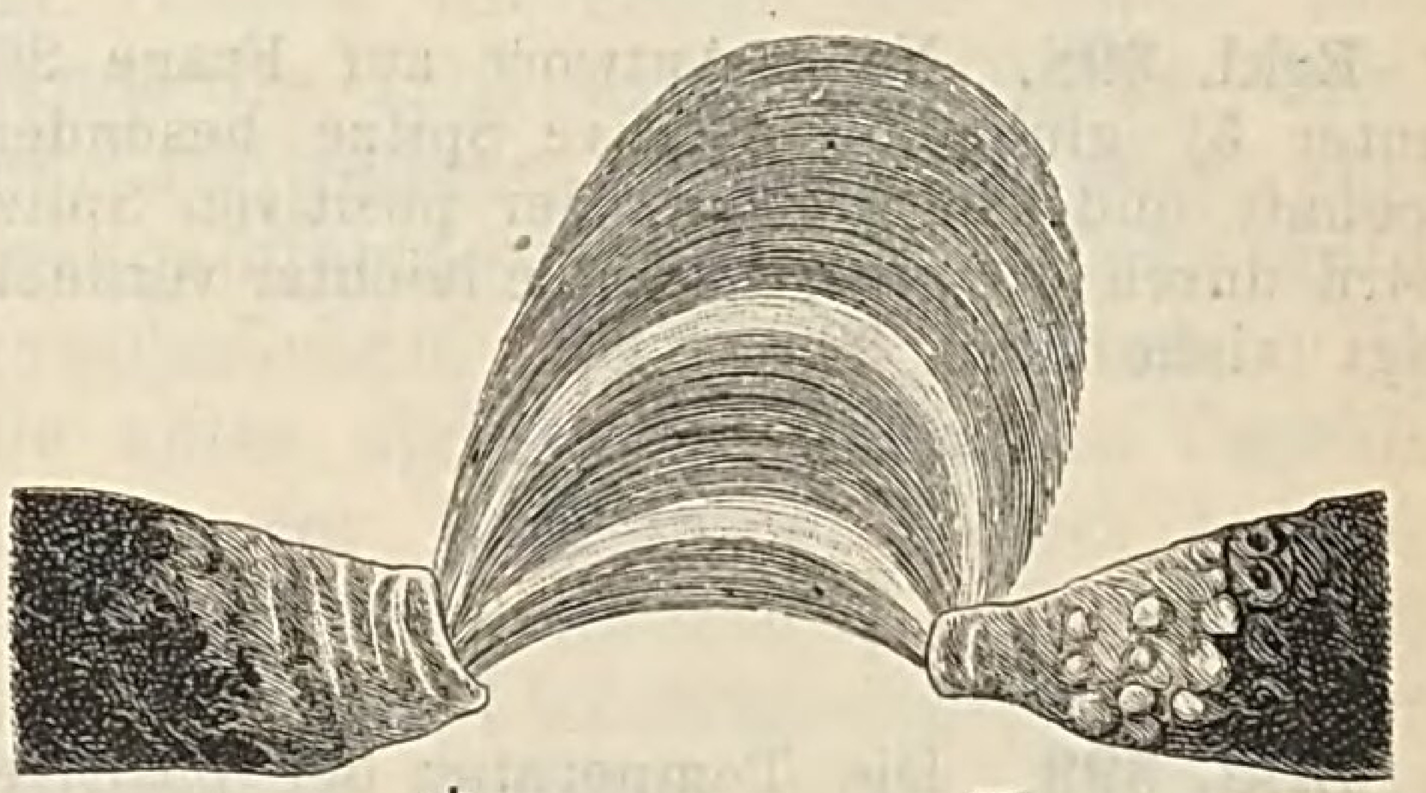
Erkl. 396. Obgleich, wie in nebenstehender Antwort unter 4). und 5). erwähnt, der Lichtbogen selbst nicht die eigentliche Quelle des Lichts ist, so spricht man dennoch von der Helligkeit des Lichtbogens, des Bogenlichts, und versteht darunter also die gesamte bei der Bildung des Lichtbogens erzeugte Lichtstärke.

Spitze über, und zwar lösen sich mehr Teilchen von derjenigen Kohle ab, welche mit dem positiven Pol der Säule verbunden ist (der positiven Kohle), als von der andern (der negativen Kohle) (siehe Erkl. 392). Diese von Spitze zu Spitze übergehende Substanz und die zwischen den Spitzen durch das Verbrennen der Kohlen sich bildenden glühenden Gase vermitteln den Durchgang des elektrischen Stroms.

2). Nachdem der elektrische Strom den Lichtbogen einige Zeit durchflossen hat, haben die beiden Kohlen das in Figur 146 dargestellte Aussehen. Die negative Kohle bleibt beim Abbrennen spitz, an der positiven Kohle dagegen bildet sich eine Vertiefung (ein Krater), und beide Kohlen sind an den freien Enden mit warzenförmigen Erhöhungen bedeckt, welche von Beimengungen herrühren, die durch die Hitze des Lichtbogens geschmolzen sind.

3). Der Lichtbogen hat die in Figur 147 dargestellte eigentümliche Form und besteht aus einem inneren helleren

Figur 147.



Kern, welcher von einer schwach leuchtenden Hülle umgeben ist (siehe Erkl. 396). Er bleibt jedoch nicht auf einer Stelle, sondern er bewegt sich am Rande der Kohlenspitzen.

4). Der Lichtbogen selbst besitzt eine geringe Lichtstärke.

5). Das Licht wird von den glühenden Stellen der Kohlenspitzen ausgestrahlt, und zwar ist die Intensität des von der positiven Kohlenspitze [siehe unter 1).] ausgestrahlten Lichts etwa dreimal so gross als diejenige des von der negativen Kohlenspitze ausgestrahlten Lichts.

6). Der elektrische Strom kann etwa auf $^1/_{20}$ Sekunde unterbrochen werden, ohne dass der Lichtbogen erlischt (siehe die Erkl. 392 bis 396).

Frage 263. Was versteht man unter der Länge des Lichtbogens?

Antwort. Unter der Länge des Lichtbogens versteht man die Grösse des Abstands der beiden Lichtbogenspitzen.

Frage 264. Was versteht man unter der grössten Länge des Lichtbogens und wovon ist dieselbe abhängig?

Antwort. Unter der grössten Länge des Lichtbogens versteht man die Grösse des Abstands, bis zu welchem die beiden Pol-Enden entfernt werden können, ohne dass der zwischen ihnen gebildete Lichtbogen erlischt.

Die grösste Länge des Lichtbogens ist abhängig:

1). Von der elektromotorischen Kraft der Säule;

2). von der Umgebung; im luftverdünnten Raum ist die grösste Länge des Lichtbogens grösser als in der atmosphärischen Luft (siehe Erkl. 388);

3). von der Natur der Körper, zwischen denen der Lichtbogen erzeugt wird.

Je leichter diese Spitzen sich beim Glühen verflüchtigen, um so länger kann der Lichtbogen gemacht werden, ohne dass er erlischt. Nach Antwort auf Frage 262 unter 1). vermitteln die von Spitze zu Spitze übergehenden glühenden Teilchen die Leitung des elektrischen Stroms; der Widerstand des Lichtbogens wird um so geringer, je mehr Teilchen zwischen den Spitzen übergehen (siehe Erkl. 397).

Da nun hauptsächlich ein Uebergang von Teilchen der positiven Spitze nach der negativen Spitze stattfindet, so kommt es namentlich auf die Natur der positiven Spitze, d. h. auf deren grössere oder geringere Flüchtigkeit in der Hitze an, während die Natur der negativen Spitze von geringem Einfluss auf die mögliche Länge des Lichtbogens ist (siehe Erkl. 398).

Erkl. 397. Zwischen Platinspitzen ist die grösste Länge des Lichtbogens nur gering, weil das Platin sich auch in der Hitze nur äusserst schwer verflüchtigen lässt.

Da Zink ein in der Hitze leicht flüchtiges Metall ist, so kann man zwischen Zinkspitzen einen grösseren Lichtbogen erzielen, einen noch grösseren zwischen Kohlenspitzen, welche mit leichtflüchtigen Salzen getränkt sind.

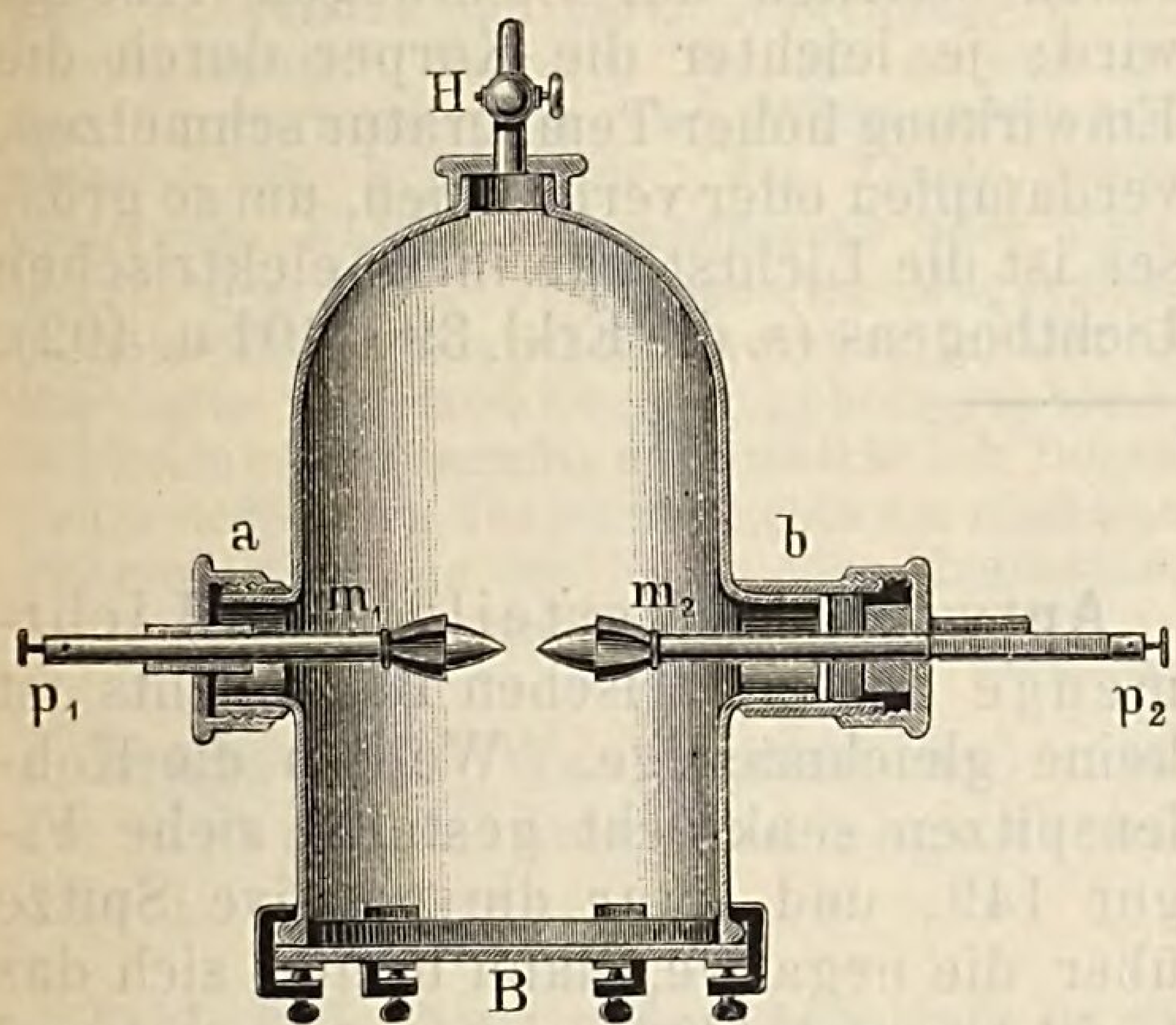
Erkl. 398. Nach Antwort auf Frage 262 unter 5). glüht die positive Spitze besonders lebhaft und die Substanz der positiven Spitze wird durch die grössere Hitze leichter verflüchtigt (siehe Erkl. 399).

Erkl. 399. Die Temperatur der positiven Spitze des Lichtbogens ist etwa 2400—4000° Celsius, die Temperatur der negativen Spitze ist etwa 2100—2500° Celsius. Bei dieser sehr hohen Temperatur schmelzen und verdampfen bezw. verbrennen die meisten Metalle.

Frage 265. Auf welche Weise kann man den Lichtbogen messen?

Antwort. Zur Messung der Länge des Lichtbogens kann man sich unter anderem des von *Wiedemann* angegebe-

Figur 148.



Erkl. 400. Bei den in nebenstehender Antwort beschriebenen Experimenten bedeckt sich bei Anwendung von Kohlenspitzen die innere Oberfläche der Glocke, siehe Figur 148, mit feinen Kohlenteilchen, welche unverbrannt nach allen Seiten von den Kohlenspitzen wegfliegen.

nen Apparats bedienen. Die Einrichtung desselben besteht in folgendem:

Die in Figur 148 dargestellte Glasglocke trägt an der Seite zwei sich genau gegenüberstehende Hälse *a* und *b* und oben einen dritten, welcher mit einem Hahn *H* versehen ist. In dem seitlichen Hals *a* ist ein Metallstab m_1 in einer Fassung luftdicht eingesetzt; der Hals *b* trägt eine Stopfbüchse, in welcher der Metallstab m_2 luftdicht hin und her geschoben werden kann. m_1 und m_2 tragen an ihren in der Glocke befindlichen Enden je eine Federklemme, an ihren ausserhalb befindlichen Enden die Klemmschrauben p_1 und p_2. m_2 ist ausserhalb der Glocke mit einer Millimetereinteilung versehen. Beim Gebrauch setze man in die Federklemmen die Metall- oder Kohlenstäbchen ein und befestige den unteren Rand der Glocke auf der genau anschliessenden Platte *B* von Spiegelglas mittels Schrauben, bringe die Spitzen der Metall- oder Kohlenstäbchen durch Verschieben von m_2 miteinander in Berührung und verbinde p_1 und p_2 mit den Polen einer galvanischen Säule.

Durch den Hahn *H* kann man nun die Glocke mit einem Gas füllen; man kann die Luft aus der Glocke durch eine Luftpumpe auspumpen oder auch bei geöffnetem Hahn die Glocke unter gewöhnlichem Luftdruck halten. Um die unter diesen verschiedenen Verhältnissen der Umgebung [siehe Antwort auf Frage 263 unter 3).] und unter Anwendung von Lichtbogenspitzen aus verschiedenen Metallen oder Kohlensorten [siehe Antwort auf Frage 263 unter 1).] und unter Anwendung von Säulen mit verschieden grossen elektromotorischen Kräften [siehe Antwort auf Frage 263 unter 2).] sich ergebende grösste Länge des Lichtbogens zu bestimmen, ziehe man m_2 soweit zurück, bis der Lichtbogen eben erlischt und lese die sich alsdann ergebende Länge des Lichtbogens auf der Millimetereinteilung von m_2 ab (siehe Erkl. 400).

Frage 266. Was versteht man unter der Lichtstärke des Bogenlichts und wovon ist dieselbe abhängig?

Antwort. Unter der Lichtstärke des Bogenlichts versteht man die ge-

samte an den Lichtbogenspitzen erzeugte Lichtmenge. Die Lichtstärke des Bogenlichts ist abhängig:

1). von der Stromstärke; nimmt die Stromstärke zu, so wird die Lichtstärke grösser, nimmt die Stromstärke ab, so wird die Lichtstärke kleiner;

2). von der Natur der Körper, zwischen welchen der Lichtbogen erzeugt wird; je leichter die Körper durch die Einwirkung hoher Temperatur schmelzen, verdampfen oder verbrennen, um so grösser ist die Lichtstärke ihres elektrischen Lichtbogens (s. die Erkl. 396, 401 u. 402).

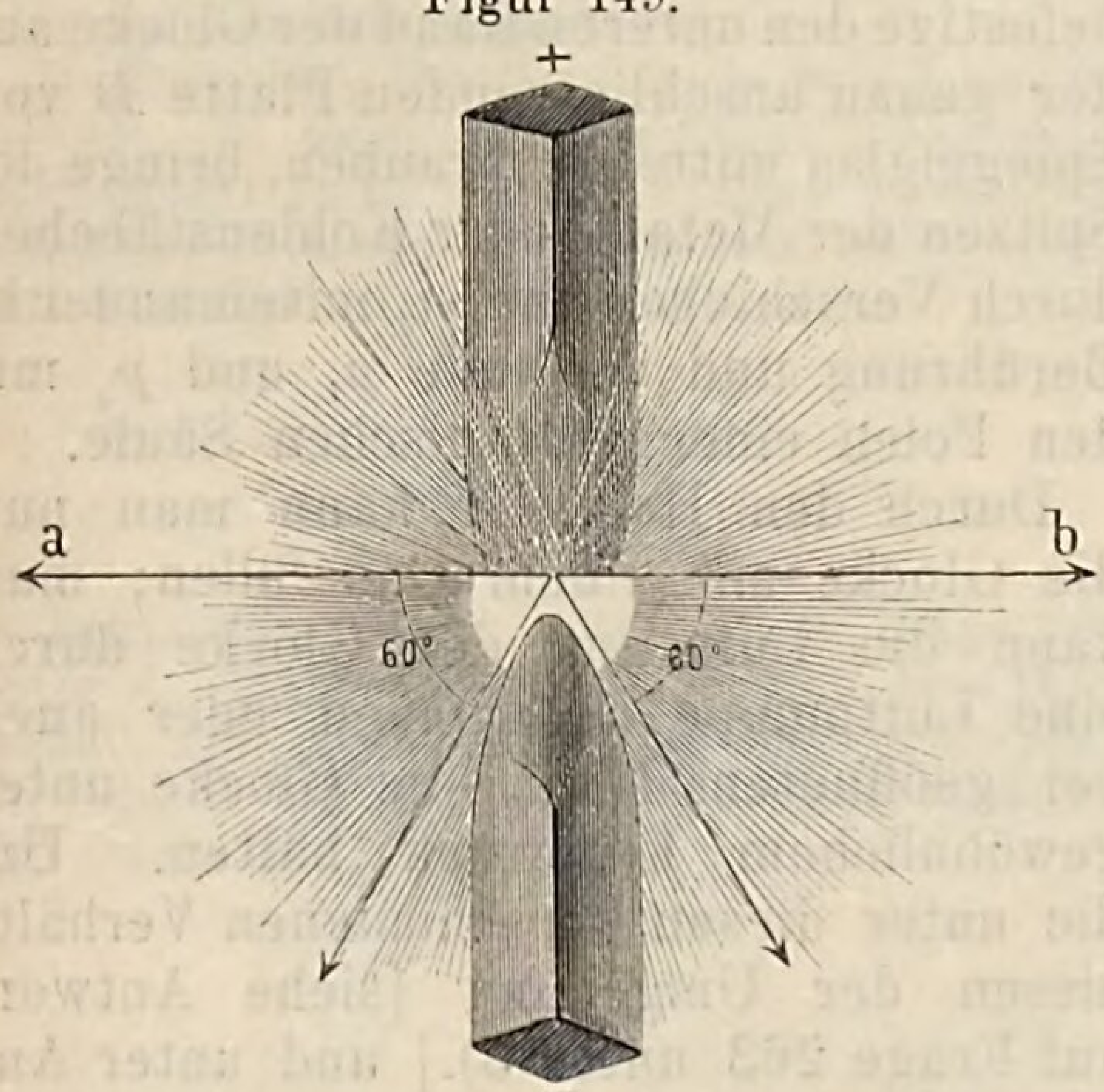
Erkl. 401. Das **Kohlenlicht** ist besonders hell, wenn der Kohle Metallpulver beigemengt ist (siehe Erkl. 402).

Erkl. 402. Zur Erzielung eines ganz besonders hellen **Kohlenlichts** bringe man beide Kohlenspitzen, zwischen denen der Lichtbogen gebildet ist, mit einem Kalkcylinder in Berührung. Hierbei bildet der Lichtbogen eine Vertiefung in dem Kalkcylinder. Letzterer erglüht alsdann in so hellem Licht, dass der Lichtbogen in der Vertiefung als eine dunkle Wolke sich darstellt.

Frage 267. Welche Erscheinung zeigt sich in der **Verteilung der Lichtmenge** des elektrischen Bogenlichts?

Antwort. Die **Verteilung der Lichtmenge** des elektrischen Bogenlichts ist keine gleichmässige. Werden die Kohlenspitzen senkrecht gestellt, siehe Figur 149, und zwar die positive Spitze über die negative, dann breitet sich das Licht hauptsächlich nach unten aus, und zwar ist die Intensität des Lichts am grössten unter einem Winkel von 60° gegen die Horizontalebene *ab*; sie ist hier 5 mal so gross als in der Horizontalebene (siehe Erkl. 403). Nach oben breitet sich nur ein verhältnismässig kleiner Teil des Lichts aus, weil der Krater der positiven Kohle [siehe Antwort auf Frage 262 unter 2).] das Licht nach unten wirft.

Figur 149.



Erkl. 403. Die in nebenstehender Antwort bezeichnete Verteilung der Intensität des elektrischen Lichts findet bei gleichgerichtetem Strom statt. Bei Anwendung eines alternierenden, d. i. Wechselstroms ist die Ausbreitung des Lichts nach allen Seiten die gleiche, soweit dieser Ausbreitung die Kohlenstäbe nicht im Wege stehen (siehe Erkl. 404).

Erkl. 404. Ein alternierender oder Wechselstrom ist ein elektrischer Strom, welcher in schneller Aufeinanderfolge seine Richtung wechselt. Ausführliches über den Wechselstrom findet man in dieser Encyklopädie in *Mays* Lehrbuch der Induktionselektricität [siehe auch Antwort auf Frage 245 unter 2c).]

Frage 268. Was lässt sich über die **chemische Wirkungskraft** des elektrischen Bogenlichts aussagen?

Antwort. Das elektrische Bogenlicht besitzt eine grosse **chemische** Wir-

kungskraft, da dasselbe an blauen, violetten und ultravioletten Strahlen reich ist, so dass es ähnliche chemische Wirkungen hervorbringt wie das Sonnenlicht (siehe Erkl. 405).

Erkl. 405. Wie in den Erkl. 365—368 erwähnt, ist das Sonnenlicht aus Strahlen von verschiedener Farbe zusammengesetzt. Die blauen und violetten Strahlen sind diejenigen, welche die stärksten chemischen Wirkungen hervorbringen können. Körper, welche durch die Wirkung einer Lichtquelle chemisch verändert werden, nennt man lichtempfindliche Körper. Das bekannteste Beispiel der chemischen Wirkung dieser Strahlen ist die Zersetzung lichtempfindlicher Silbersalze durch das Sonnenlicht und deren Anwendung in der Photographie. Aehnlich verhält es sich mit der Zusammensetzung und Wirksamkeit des elektrischen Bogenlichts, des Lichts weissglühenden Kalkes (Drumondsches oder Kalklicht), des Lichts verbrennenden Magnesiummetalls (Magnesiumlicht); und zwar kommt die chemische Wirksamkeit (auch „photographische Wirksamkeit“ genannt) des elektrischen Bogenlichts derjenigen des Sonnenlichts am nächsten, während diejenige des Kalk- oder Magnesiumlichts sehr viel geringer ist.

Frage 269. Was versteht man unter der elektromotorischen Gegenkraft des Lichtbogens?

Antwort. Wird ein Lichtbogen gebildet, so vermindert sich die Stromstärke im Stromkreis in höherem Grade, als dem durch den Lichtbogen selbst in den Stromkreis eingeführten Widerstand entspricht. Die Ursache dieser Stromschwächung ist nach *Edlund* die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens (siehe Erkl. 406).

Erkl. 406. Nach andern Annahmen ist die in nebenstehender Antwort bezeichnete Stromschwächung einem an den Lichtbogenspitzen auftretenden Uebergangswiderstand (siehe Antwort auf Frage 214) zuzuschreiben, auch könnte dieselbe durch die Annahme der gleichzeitigen Wirkung einer elektromotorischen Gegenkraft und eines Uebergangswiderstands erklärt werden.

Die Annahme einer elektromotorischen Gegenkraft hat jedoch mehr Wahrscheinlichkeit für sich, als die Annahme eines Uebergangswiderstands.

Frage 270. Welche Sätze wurden in bezug auf die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens aufgestellt?

Antwort. In bezug auf die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens wurden nach *Edlund* folgende Sätze aufgestellt:

1). Die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens ist unabhängig von der Länge des Lichtbogens;

2). sie ist, sobald die Stromstärke eine gewisse Grösse hat, unabhängig von der Stromstärke;

3). sie ist abhängig von der Natur der Körper, zwischen welchen der Lichtbogen gebildet wird (von der Natur der Lichtbogenspitzen); sie ist z. B. zwischen Spitzen aus harter Kohle grösser als z. B. zwischen Kupferspitzen.

15). Ueber die chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms.

(Elektrolyse.)

A). Ueber die chemischen Grundbegriffe, welche zum Verständnis der Elektrolyse erforderlich sind.

Frage 271. Welches sind die zum Verständnis der Elektrolyse notwendigsten chemischen Grundbegriffe?

Antwort. Die zum Verständnis der Elektrolyse notwendigsten chemischen Grundbegriffe sind die folgenden:

1). Der Begriff: Molekul (siehe Erkl. 407),
2). „ „ homogener chemischer Körper (siehe Erkl. 408),
3). „ „ Atom (siehe Erkl. 409),
4). „ „ Element (siehe Erkl. 410),
5). „ „ Atomgewicht (siehe die Erkl. 411 bis 416),
6). „ „ chemisches Zeichen (siehe die Erkl. 413 und 414),
7). „ „ zusammengesetzter Körper (siehe Erkl. 417),
8). „ „ chemische Formel (siehe Erkl. 418),
9). „ „ Molekulargewicht (siehe die Erkl. 419 und 420),
10). „ „ Säure (siehe die Erkl. 421 und 422),
11). „ „ Haloidsäure (siehe die Erkl. 422 und 423),
12). „ „ Sauerstoffsäure (siehe Erkl. 421),
13). „ „ Salz (siehe die Erkl. 421 und 424),
14). „ „ Haloidsalz (s. Erkl. 424),
15). „ „ Sauerstoffsalz (siehe Erklärung 424),
16). „ „ Hydroxyd oder Hydrat (s. die Erkl. 421 u. 425),
17). „ „ Oxyd } (siehe Erkl. 426),
18). „ „ Oxydation }
19). „ „ chemische Affinität oder Verwandtschaft (siehe Erkl. 428),
20). „ „ Reaktion (s. Erkl. 430),
21). „ „ chemischer Prozess (siehe Erkl. 430),
22). „ „ Reagens (siehe Erkl. 431).

Anmerkung. In den nachstehenden Erklärungen sind die wichtigsten chemischen Begriffe, welche zum Verständnis der Elektrolyse erforderlich sind, in gedrängter Kürze behandelt. Eine eingehende und erschöpfende Beantwortung chemischer Fragen kann und soll an dieser Stelle nicht gesucht werden, vielmehr sollen die der Chemie nicht genügend Kundigen auf diejenigen Gebiete der Chemie aufmerksam gemacht werden, deren gewissenhaftes Studium zum Verständnis elektrochemischer Vorgänge geboten ist. Weitere Belehrung über diese Gebiete der Chemie findet man in dieser Encyklopädie in den speziellen Lehrbüchern der Chemie, namentlich in dem Lehrbuch der Experimental-Chemie von *W. Steffen.*

Erkl. 407. Wird ein homogener chemischer Körper (siehe Erkl. 408) mechanisch in möglichst kleine Teilchen zerteilt, so besteht jedes dieser kleinsten Teilchen aus dem gleichen Stoff. Man stellt sich vor, dass jeder Körper aus solchen kleinsten Teilchen zusammengesetzt sei und nennt diese kleinsten Teilchen Molekule (vom latein. moles = Masse) [siehe Beispiel 1).].

Erkl. 408. Unter einem homogenen chemischen Körper versteht man irgend einen Körper, welcher in allen seinen Teilen die gleiche chemische Beschaffenheit hat, d. h. also einen Körper, welcher in allen seinen Teilen aus dem gleichen Stoff besteht.

Erkl. 409. Jedes Molekul (siehe Erkl. 407) lässt sich auf chemischem Wege in seine einfachsten Bestandteile zerlegen [siehe Beispiel 2).]. Diese chemischen Bestandteile eines Molekuls nennt man Atome (siehe Erkl. 410). Ein Zinnobermolekul enthält somit ein Quecksilberatom und ein Schwefelatom.

Erkl. 410. Unter einem chemisch einfachen Körper oder Element versteht man einen solchen Körper, welcher durch chemische Mittel nicht in andre Körper zerlegt werden kann [siehe Beispiel 3).]. Einige der häufiger vorkommenden Elemente findet man in Erkl. 414.

Erkl. 411. Werden die Molekule eines Körpers in ihre Atome zerlegt, so verbinden sich je zwei oder mehrere Atome sofort wieder zu Molekulen [siehe Beispiel 4).].

Erkl. 412. Jedes Element verbindet sich mit andern Elementen stets in bestimmten Gewichtsverhältnissen zu zusammengesetzten Körpern. Diese Gewichtsverhältnisse bezeichnet man als Atomgewichte. Die Atomgewichte einiger häufiger vorkommenden Elemente findet man in Erkl. 414 [siehe die Beispiele 5a)., 5b). und 5c).].

Beispiele zu den Erkl. 407—431.

1a). Zinnober besteht aus Zinnobermolekulen.

1b). Wasser besteht aus Wassermolekulen.

2a). Die Molekule des Zinnobers (Schwefelquecksilbers) lassen sich in ihre einfachsten Bestandteile Schwefel und Quecksilber zerlegen.

2b). Die Molekule des Wassers lassen sich in die Bestandteile des Wassers, in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegen.

3). Schwefel, Quecksilber, Sauerstoff und Wasserstoff sind Elemente.

4). Werden die Molekule des Wassers in ihre Atome Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt, so verbinden sich je 2 Wasserstoffatome zu 1 Wasserstoffmolekul, und je 2 Sauerstoffatome zu 1 Sauerstoffmolekul oder auch unter besonderen Umständen je 3 Sauerstoffatome zu 1 Ozonmolekul.

5a). Zinnober ist zusammengesetzt aus 200 Gewichtsteilen Quecksilber und 32 Gewichtsteilen Schwefel. Da das Zinnobermolekul aus 1 Atom Quecksilber und 1 Atom Schwefel besteht, so ist das Atomgewicht des Quecksilbers = 200, das Atomgewicht des Schwefels = 32.

5b). Das Wasser ist zusammengesetzt aus 16 Gewichtsteilen Sauerstoff und 2 Gewichtsteilen Wasserstoff. Das Wassermolekul besteht aus 1 Atom Sauerstoff und 2 Atomen Wasserstoff; das Atomgewicht des Sauerstoffs ist sonach = 16, das Atomgewicht des Wasserstoffs = 1.

5c). Wasserstoffsuperoxyd ist zusammengesetzt aus 32 Gewichtsteilen Sauerstoff und 2 Gewichts-

Erkl. 413. Die Elemente pflegt man in der Chemie nicht mit ihren Namen, sondern mit den Anfangsbuchstaben und, soweit dies zur Unterscheidung von andern Elementen nötig ist, mit einem ferneren Buchstaben ihres lateinischen Namens zu schreiben. Diese Bezeichnung der Elemente nennt man die chemischen Zeichen der Elemente. Man legt denselben zugleich die Bedeutung eines Atoms und des Atomgewichts des betreffenden Elements bei [siehe Beispiel 6).].

Erkl. 414. Einige der am häufigsten vorkommenden Elemente mit ihren chemischen Zeichen und Atomgewichten (siehe die Erkl. 410, 412 und 413) sind die folgenden:

Elemente	Zeichen	Atomgewichte
Aluminium	Al	27,4
Antimon (Stibium) . . .	Sb	122,0
Arsen	As	75,0
Baryum	Ba	137,0
Blei (Plumbum)	Pb	207,0
Bor	B	11,0
Brom	Br	80,0
Calcium	Ca	40,0
Chlor	Cl	35,5
Chrom	Cr	52,5
Eisen (Ferrum)	Fe	56,0
Fluor	Fl	19,0
Gold (Aurum)	Au	197,0
Jod	J	127,0
Kalium	K	39,0
Kobalt (Cobaltum) . . .	Co	59,0
Kohlenstoff (Carbonium) .	C	12,0
Kupfer (Cuprum)	Cu	63,4
Magnesium	Mg	24,0
Mangan	Mn	55,0
Natrium	Na	23,0
Nickel	Ni	59,0
Phosphor	P	31,0
Platin	Pt	197,4
Quecksilber (Hydrargyrum)	Hg	200,0
Sauerstoff (Oxygenium) .	O	16,0
Schwefel (Sulfur) . . .	S	32,0
Silber (Argentum) . . .	Ag	108,0
Silicium	Si	28,0
Stickstoff (Nitrogenium) .	N	14,0
Strontium	Sr	87,5
Wasserstoff (Hydrogenium)	H	1,0
Wismut (Bismutum) . .	Bi	210,0
Zink	Zn	65,2
Zinn (Stannum)	Sn	118,0

Beispiele zu den Erkl. 407—431.

teilen Wasserstoff. Das Wasserstoffsuperoxydmolekul besteht aus 2 Atomen Sauerstoff und 2 Atomen Wasserstoff. Dies ergibt die unter b). angegebenen Atomgewichte des Sauerstoffs und Wasserstoffs.

6). Das chemische Zeichen des Elements Kalium ist K. K bedeutet nach Erkl. 413 „ein Atom Kalium“, „ein Atomgewicht Kalium“, d. i. 39 Gewichtsteile Kalium (siehe Erkl. 414).

Erkl. 415. Das Gewicht eines Liters Chlorgas ist 35mal so gross als das eines Liters Wasserstoff, das Gewicht eines Liters Sauerstoffgas ist 16mal so gross, eines Liters Stickstoffgas 14mal so gross als das Gewicht eines Liters Wasserstoff (vorausgesetzt, dass alle diese Gase unter dem gleichen Druck stehen und die gleiche Temperatur besitzen).

Vergleicht man diese Zahlen, welche auf Wasserstoff = 1 bezogen, die spezifischen Gewichte der erwähnten Gase darstellen, mit den in voriger Erklärung angegebenen Atomgewichten, so findet man, dass sie mit denselben übereinstimmen.

Erkl. 416. Nach voriger Erklärung sind die Atomgewichte der gasförmigen Elemente gleich den spezifischen Gewichten derselben, d. h. also: in gleichen Volumen (Raumteilen) aller gasförmigen Elemente ist die gleiche Anzahl von Atomen enthalten.

Erkl. 417. Ein Körper, welcher aus verschiedenen Elementen besteht, ist ein zusammengesetzter Körper. Die Molekule eines zusammengesetzten Körpers bestehen aus Atomen von Elementen.

Erkl. 418. Um einen zusammengesetzten Körper zu bezeichnen, schreibt man die chemischen Zeichen (siehe Erkl. 414) der Elemente, aus welchen er zusammengesetzt ist, nebeneinander. Diese Bezeichnung nennt man die chemische Formel des Körpers [siehe Beispiel 7a).].

Sind von einem und demselben Element mehrere Atome in einem Molekul des zusammengesetzten Körpers vorhanden, so bezeichnet man die Anzahl der Atome durch eine, mitunter rechts oben, meist aber rechts unten an das chemische Zeichen des betreffenden Elements gesetzte Zahl [siehe die Beispiele 7b). und 7c). und Erkl. 419].

Erkl. 419. Den chemischen Formeln (siehe Erkl. 418) der zusammengesetzten Körper legt man noch die Bedeutung eines Molekuls des betreffenden Körpers und des Molekulargewichts derselben bei [siehe Erkl. 420 und die Beispiele 8a)., 8b). und 8c).]

Erkl. 420. Unter dem Molekulargewicht (siehe Erkl. 415) eines Körpers versteht man die Summe der Atomgewichte der Elemente, aus welchen der betreffende Körper zusammengesetzt ist (siehe nebenstehende Beispiele).

Erkl. 421. Die zusammengesetzten Körper werden je nach ihren verschiedenen chemischen

Beispiele zu den Erkl. 407—431.

7a). Schwefelquecksilber besteht aus 1 Atom Schwefel und 1 Atom Quecksilber. Die chemische Formel desselben ist also = HgS oder SHg.

7b). Wasser besteht aus 1 Atom Sauerstoff und 2 Atomen Wasserstoff. Die chemische Formel des Wassers ist daher = H_2O oder OH_2.

7c). Wasserstoffsuperoxyd besteht aus 2 Atomen Sauerstoff und 2 Atomen Wasserstoff. Die chemische Formel desselben ist daher = H_2O_2 oder O_2H_2.

8a). Die chemische Formel des Schwefelquecksilbers ist HgS; die Summe der Atomgewichte des Quecksilbers (Hg = 200) und des Schwefels (S = 32) ist = 232. Das Molekulargewicht des Schwefelquecksilbers HgS ist also = 232. HgS bedeutet sonach 1 Molekul oder 232 Gewichtsteile Schwefelquecksilber.

8b). Die chemische Formel des Wassers ist H_2O; die Summe der Atomgewichte des Wassers (H_2 = 2) und des Sauerstoffs (O = 16) ist 18. H_2O bedeutet daher 1 Molekul oder 18 Gewichtsteile Wasser.

8c). Die chemische Formel des Wasserstoffsuperoxyds ist H_2O_2; die Summe der Atomgewichte des Wassers (H_2 = 2) und des Sauerstoffs (O_2 = 32) ist 34. H_2O_2 bedeutet also 1 Molekul oder 34 Gewichtsteile Wasserstoffsuperoxyd.

Eigenschaften in verschiedene Klassen eingeteilt. Die in der Elektrolyse wichtigsten Klassen von zusammengesetzten Körpern sind:
1). die Säuren (siehe Erkl. 422),
2). die Salze,
3). die Hydroxyde oder Hydrate,
4). die Oxyde.

Erkl. 422. Eine Säure ist
1). eine Verbindung eines Metalloids mit Wasserstoff allein; solche Säuren nennt man Haloidsäuren;
2). eine Verbindung eines Metalloids mit Wasserstoff und Sauerstoff; solche Säuren nennt man Sauerstoffsäuren [siehe Beispiel 9).].

Erkl. 423. Die in voriger Erkl. erwähnten Haloidsäuren sind mit ihren chemischen Formeln:
1). Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure) HCl,
2). Bromwasserstoffsäure HBr,
3). Jodwasserstoffsäure HJ,
4). Fluorwasserstoffsäure HFl.

Erkl. 424. Wird in einer Säure der Wasserstoff durch ein Metall ersetzt, so wird ein Salz gebildet. Man teilt die Salze analog den Säuren ein in:
1). solche Salze, welche keinen Sauerstoff enthalten; diese Salze nennt man Haloidsalze [siehe die Beispiele 10a).];
2). solche Salze, welche Sauerstoff enthalten; diese Salze nennt man Sauerstoffsalze [siehe die Beispiele 10b).]

Erkl. 425. Unter einem Hydroxyd oder Hydrat versteht man eine Verbindung eines Metalls mit Wasserstoff und Sauerstoff, welche man sich in der Weise entstanden denkt, dass in einem Wassermolekul die Hälfte des Wasserstoffs durch das Metall ersetzt worden ist [siehe die Beispiele 11).].

Erkl. 426. Unter einem Oxyd versteht man im allgemeinen eine Verbindung eines Elements mit Sauerstoff. Oxydation ist der Vorgang bei dieser Verbindung; oxydieren heisst diese Verbindung bewirken; oxydationsfähig oder oxydierbar heisst fähig, sich mit Sauerstoff zu verbinden.

Erkl. 427. Die Oxyde werden in 3 Gruppen eingeteilt. Diese 3 Gruppen von Oxyden unterscheiden sich durch ihr Verhalten, wenn sie mit Wasser in Berührung gebracht werden:
1). Die Oxyde der ersten Gruppe bilden mit Wasser Säuren; diese Oxyde werden säurebildende Oxyde genannt [siehe Beispiel 12).].
2). Die Oxyde der zweiten Gruppe bilden mit Wasser die Hydrate oder Hydroxyde; diese Oxyde werden die hydrat-

Beispiele zu den Erkl. 407—431.

9). Einige der in nebenstehender Erkl. 422 erwähnten Sauerstoffsäuren sind mit ihren chemischen Formeln:
1). Salpetersäure HNO_3
2). salpetrige Säure HNO_2
3). Schwefelsäure H_2SO_4
4). Phosphorsäure H_3PO_4
5). phosphorige Säure H_3PO_3
6). unterphosphorige Säure H_3PO_2
u. s. f.

10). Von den äusserst zahlreichen Salzen seien nur einige wenige erwähnt:
a). Haloidsalze:
1). Chlornatrium $NaCl$
2). Chlorcalcium $CaCl_2$
3). Eisenchlorid Fe_2Cl_6
b). Sauerstoffsalze:
1). schwefelsaures Natrium Na_2SO_4
2). schwefelsaures Barium $BaSO_4$
3). schwefelsaures Aluminium $Al_2(SO_4)_3$
u. s. f.

11). Einige Hydrate sind die folgenden:
Wasser H_2O oder $H(OH)$
Kaliumhydroxyd $K(OH)$
Zinkhydroxyd $Zn(OH)_2$
Aluminiumhydroxyd $Al_2(OH)_6$

12). Schwefeltrioxyd (SO_3) bildet mit Wasser (H_2O) Schwefelsäure (H_2SO_4) nach der Gleichung:

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$$

13a). Natriumoxyd (Natron, Na_2O) bildet mit Wasser Natriumhydroxyd (Natriumhydrat):

$$Na_2O + H_2O = 2NaOH$$

13b). Calciumoxyd (Kalk, CaO) bildet mit Wasser Calciumhydroxyd [Calciumhydrat, $Ca(OH)_2$]:

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$$

bildenden oder eigentlichen Oxyde genannt [siehe die Beispiele 13).].

3). Die Oxyde der dritten Gruppe bilden mit Wasser keine Verbindung; sie werden daher indifferente Oxyde genannt [siehe die Beispiele 14)].

Erkl. 428. Unter der chemischen Affinität oder Verwandtschaft versteht man die unbekannte Ursache, welche bewirkt, dass ein bestimmter chemischer Körper mit einem bestimmten andern Körper bei der Berührung einen neuen Körper bildet. Solche Körper, welche die Eigenschaft haben, sich miteinander zu verbinden, nennt man chemisch verwandte Körper [siehe Beispiel 15).].

Erkl. 429. Die chemische Affinität äussert sich auch dadurch, dass zwei zusammengesetzte Verbindungen bei ihrer Berührung ihre Bestandteile teilweise austauschen, wobei zwei neue Körper entstehen [siehe die Beispiele 16[a]). und 16[b]).].

Erkl. 430. Jede chemische Einwirkung mehrerer Körper aufeinander, wobei nach voriger Erklärung neue von den einwirkenden verschiedene Körper entstehen, wird chemische Reaktion genannt. Den Vorgang bei einer Reaktion nennt man den chemischen Prozess [siehe die Beispiele 15). und 16).].

Erkl. 431. Eine chemische Verbindung, welche auf andre einwirkt (reagiert), nennt man ein Reagens (Mehrzahl Reagentien).

Beispiele zu den Erkl. 407—431.

14). Bleisuperoxyd (PbO_2), Stickstoffoxyd (NO) etc. bleiben bei der Berührung mit Wasser unverändert.

15). Chlor hat eine starke Affinität zu den meisten Metallen und verbindet sich mit denselben zu Salzen (siehe Erkl. 424), welche Chloride oder Chlormetalle genannt werden.

16[a]). Schwefelsäure (H_2SO_4) bildet mit Kaliumoxyd (Kali, H_2O) schwefelsaures Kalium (K_2SO_4) und Wasser (H_2O):

$$H_2SO_4 + K_2O = K_2SO_4 + H_2O$$

16[b]). Schwefelsäure bildet mit Zink schwefelsaures Zink ($ZnSO_4$), wobei Wasserstoff (H) frei wird, welcher entweicht:

$$H_2SO_4 + Zn = ZnSO_4 + 2\,H$$

u. s. f.

B). Ueber die Elektrolyse im allgemeinen.

Frage 272. Was versteht man unter Elektrolyse?

Antwort. Wenn ein elektrischer Strom einen Leiter zweiter Klasse durchfliesst, so wird derselbe in seine chemischen Bestandteile zersetzt. Diese Zersetzung durch den elektrischen Strom nennt man Elektrolyse.

Frage 273. Welche besonderen Benennungen sind in der Lehre von der Elektrolyse gebräuchlich?

Antwort. In der Lehre von der Elektrolyse sind folgende Benennungen gebräuchlich:

1). Ein zur Aufnahme des zu zersetzenden Leiters zweiter Klasse (der zersetzbaren Flüssigkeit) bestimmtes Gefäss wird die Zersetzungszelle genannt;

2). die beiden mit den Polen des Rheomotors verbundenen Metallstücke, welche

Erkl. 432. Die in nebenstehender Antwort bezeichneten Benennungen sind von *Faraday* eingeführt; denselben liegt folgendes Bild zu Grunde:

Denkt man sich den von dem Rheomotor kommenden elektrischen Strom, als ob er im Osten mit der aufgehenden Sonne in die Zersetzungszelle eintrete, so kann man die Elektrode, an welcher der Strom in die Zelle eintritt, bezeichnen als die Anode (vom griech. ἄνοδος = der Weg hinauf); stellt man sich ferner vor, dass der Strom mit der untergehenden Sonne aus der Zersetzungszelle im Westen wieder austritt, so kann man die Elektrode, an welcher der elektrische Strom die Zersetzungszelle verlässt, als die Katode (vom griech. κάθοδος = der Weg hinab) bezeichnen.

Das Wort Elektrode (vom griech. ὁδός = der Weg) heisst der Weg des elektrischen Stroms.

Elektrolyse (vom griech. λύσις = Trennung) heisst die Trennung (Zersetzung) durch den elektrischen Strom.

in die zu zersetzende Flüssigkeit eintauchen, heissen Elektroden;

3). die mit dem positiven Pol des Rheomotors verbundene Elektrode (die positive Elektrode) heisst die Anode;

4). die mit dem negativen Pol des Rheomotors verbundene Elektrode (die negative Elektrode) heisst die Katode;

5). einen Leiter zweiter Klasse, welcher der Elektrolyse unterworfen wird, nennt man einen Elektrolyt;

6). die Produkte der Elektrolyse, d. h. die Bestandteile, in welche der Elektrolyt durch den elektrischen Strom zerlegt wird, nennt man Jonen, und zwar unterscheidet man zwei verschiedene Jonen: das Anion, welches sich an der Anode, und das Kation, welches sich an der Katode ausscheidet.

Frage 274. Worin besteht der Vorgang der Elektrolyse in Rücksicht auf die in voriger Antwort bezeichneten Benennungen?

Antwort. Der Vorgang der Elektrolyse besteht in folgendem:

Durchfliesst ein elektrischer Strom einen Elektrolyt, so scheiden sich die Jonen unmittelbar an den Elektroden aus, das Anion an der Anode, das Kation an der Katode; der nicht unmittelbar die Elektroden berührende Teil des Elektrolyts wird durch die Wirkung des elektrischen Stroms nicht verändert.

C). Ueber die galvanische Wasserzersetzung.

a). Ueber den Vorgang bei der galvanischen Wasserzersetzung.

Frage 275. Was versteht man unter der galvanischen Wasserzersetzung?

Erkl. 433. Unter einem sekundären Prozess versteht man in der Lehre von der Elektrolyse einen chemischen Prozess, bei welchem das Anion oder das Kation oder beide Jonen weitere Verbindungen eingehen.

Antwort. Unter der galvanischen Wasserzersetzung versteht man einen sekundären Prozess (siehe Erkl. 433), welcher die Elektrolyse gewisser wasserhaltiger Elektrolyte begleitet.

Frage 276. Worin besteht der Vorgang bei der galvanischen Wasserzersetzung?

Antwort. Der Vorgang bei der galvanischen Wasserzersetzung besteht in folgendem:

Werden gewisse wasserhaltige Elektrolyte, z. B. mit Wasser verdünnte Schwefelsäure oder eine wässerige Lösung von

Kali, in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet, so durchfliesst der elektrische Strom der Säule den Elektrolyt, also in den erwähnten Beispielen die Teilchen der Schwefelsäure oder des Kali, und zerlegt dieselben in ihre elektrolytischen Produkte. Diese Produkte, das Anion und das Kation, wirken auf das Wasser sekundär ein, wobei die Bestandteile des Wassers, Sauerstoff und Wasserstoff, als Gase an den Elektroden entweichen (siehe Erklärung 434).

Dies kann man an folgenden Beispielen darthun:

1. Beispiel. Wird stark mit Wasser verdünnte Schwefelsäure (H_2SO_4) in den Stromkreis einer galvanischen Batterie eingeschaltet, so wird die Schwefelsäure elektrolysiert (zersetzt):

H_2SO_4
zerfällt in
(Kation) H_2 SO_4 (Anion)

Das Kation H_2, d. i. Wasserstoff, entweicht als Gas, der das Anion bildende Körper SO_4 bewirkt nun mit dem Wasser der Schwefelsäure einen sekundären Prozess:

$$SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$$

dabei bildet sich also wieder Schwefelsäure (H_2SO_4) und Sauerstoff (O), welcher an der Anode als Gas entweicht.

2. Beispiel. Wird eine wässerige Lösung von Aetzkali (KOH) in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet, so wird das Aetzkali zersetzt:

KOH
wird zerlegt in
H und K (Kationen) O (Anion)

Der Wasserstoff (H) entweicht als Kation an der Katode, der Sauerstoff (O) als Anion an der Anode. Das Kalium (K) kann bei Anwesenheit von Wasser (H_2O) nicht für sich bestehen, es bewirkt mit dem Wasser einen sekundären Prozess:

$$K + H_2O = KOH + H$$

es bildet sich wieder Aetzkali, und Wasserstoff wird frei (siehe Erkl. 435).

Erkl. 434. Zu nebenstehender Antwort sei bemerkt, dass der elektrische Strom nur die Teilchen des Elektrolyts durchfliesst, nicht aber die Wasserteilchen, weil das chemisch reine Wasser den elektrischen Strom nicht leitet.

Erkl. 435. Der in nebenstehender Antwort in Beispiel 2 erläuterte Prozess wird auch in folgender Weise aufgefasst:

Das Aetzkali (KOH) wird durch den elektrischen Strom zerlegt:

2 KOH
zerfällt in
(Kation) K_2 und 2 OH (Anion)

Die Gruppen OH können nicht für sich allein bestehen, je zwei dieser Atomgruppen verbinden sich zu Wasser (H_2O), wobei Sauerstoff (O) frei wird:

$$2\,OH = H_2O + O$$

Das Kation K_2 setzt sich in der in nebenstehender Antwort angegebenen Weise um:

$$K_2 + 2\,H_2O = 2\,KOH + 2\,H$$

Hierbei wäre also der ganze bei der Elektrolyse der Aetzkalilösung erhaltene Wasserstoff ein sekundäres Produkt; nach der in nebenstehender Antwort gegebenen Auffassung dagegen wäre die eine Hälfte des abgeschiedenen Wasserstoffs primär (d. h. durch die Wirkung des elektrischen Stroms abgeschieden), die andre Hälfte dagegen sekundär.

b). Ueber die galvanischen Wasserzersetzungsapparate.

Frage 277. In welche zwei Gruppen kann man die galvanischen Wasserzersetzungsapparate einteilen?

Antwort. Die galvanischen Wasserzersetzungsapparate kann man in folgende zwei Gruppen einteilen:

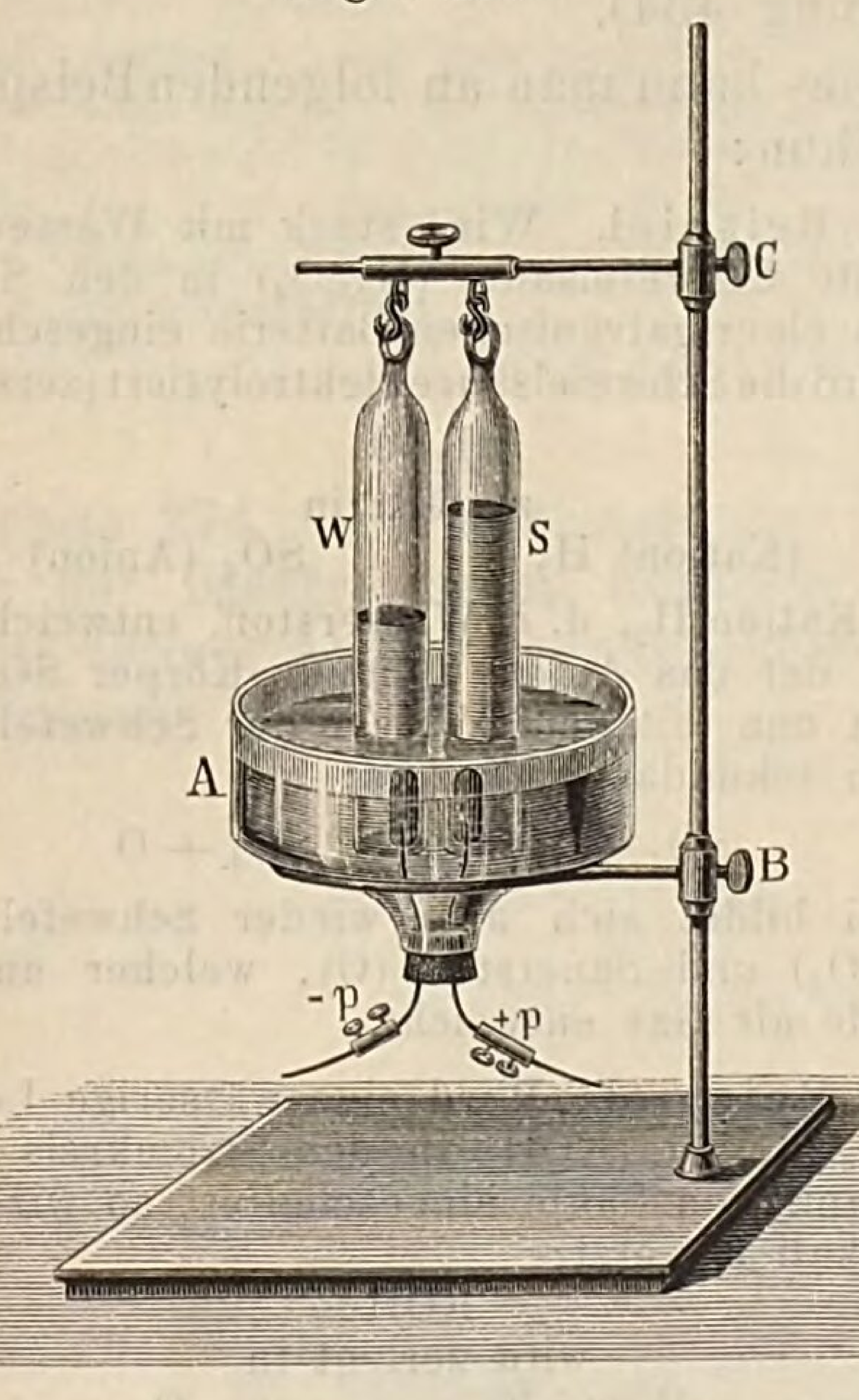
1). Wasserzersetzungsapparate, in wel-

chen die beiden Gase Sauerstoff und Wasserstoff getrennt aufgefangen werden;

2). Wasserzersetzungsapparate, in welchen die beiden Gase gemischt als Knallgas aufgefangen werden.

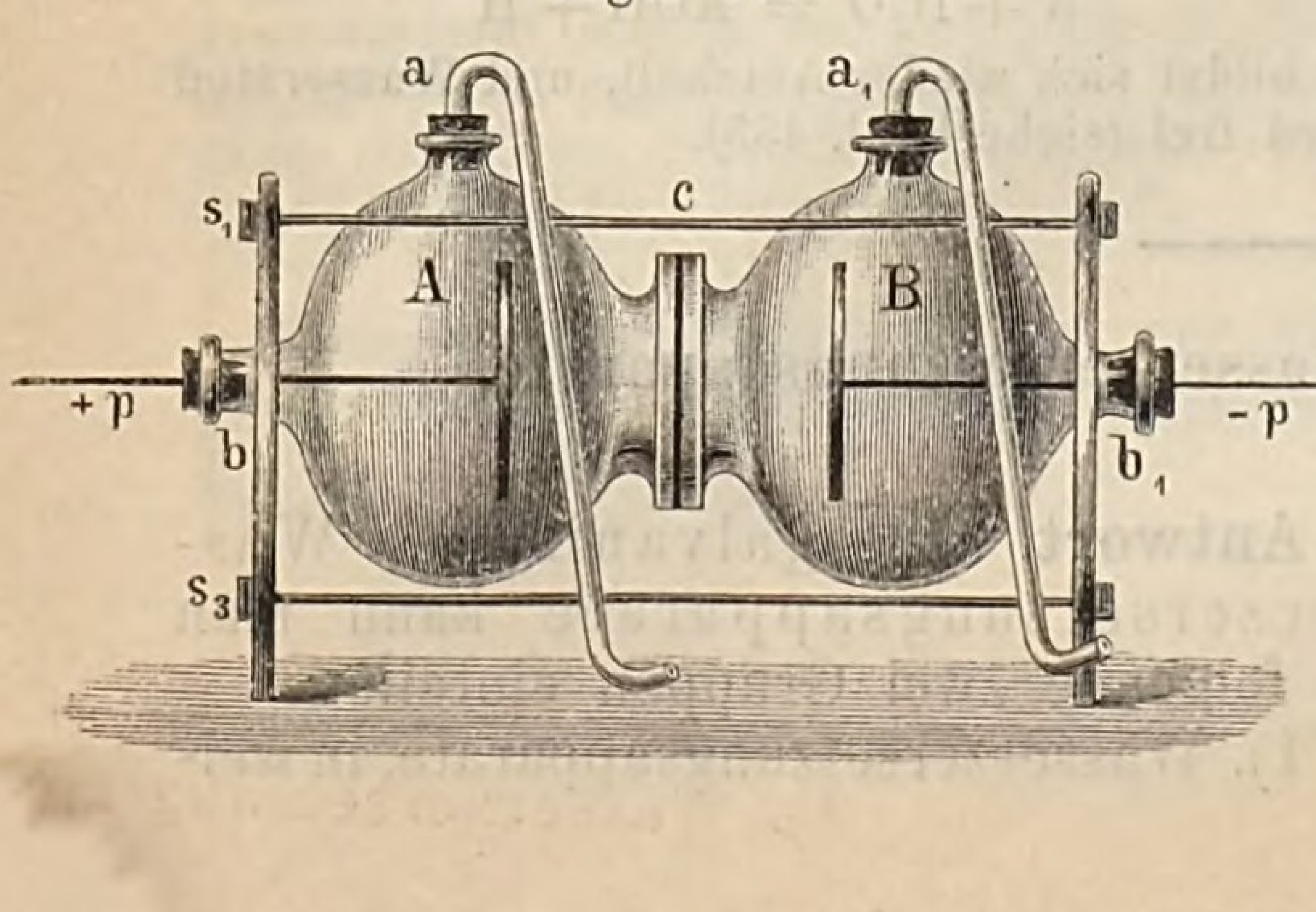
Frage 278. Worin besteht die Einrichtung der gebräuchlichsten Wasserzersetzungsapparate, in welchen die beiden Gase getrennt aufgefangen werden?

Figur 150.



Erkl. 436. Der in nebenstehender Antwort unter 1). beschriebene Apparat dient hauptsächlich zum Bestimmen des Volumverhältnisses der beiden bei der Wasserzersetzung auftretenden Gase. Ausführliches darüber findet man in einer der folgenden Antworten.

Figur 151.



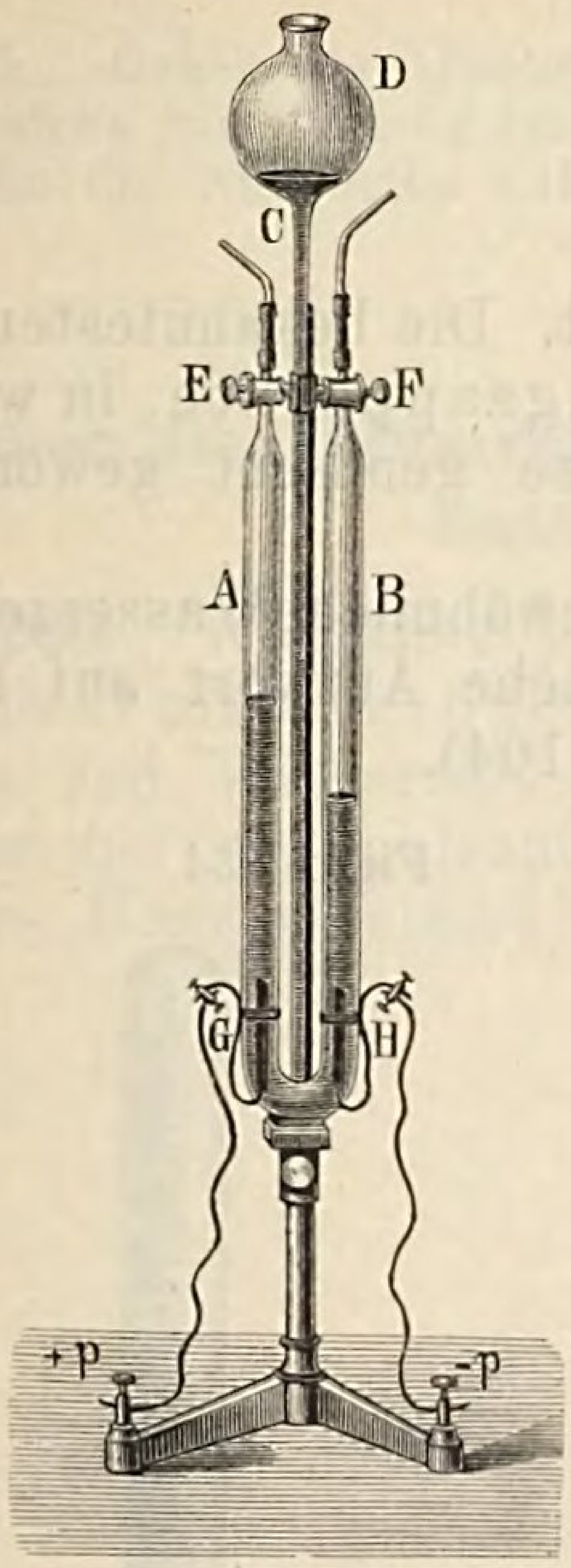
Antwort. Die Einrichtung der gebräuchlichsten Wasserzersetzungsapparate, in welchen die beiden Gase getrennt aufgefangen werden, besteht in folgendem:

1). Ein oben offenes, unten mit einem Hals versehenes Glasgefäss *A*, siehe Figur 150, ruht auf dem Arm *B* eines Stativs. Der Hals dieses Gefässes ist durch einen Kork verschlossen, durch welchen die Poldrähte zweier Platinelektroden hindurchgeführt sind. An einem zweiten Arm *C* hängen zwei unten offene, oben geschlossene Glascylinder *S* und *W*, deren jeder eine der beiden Platinelektroden umschliesst. Diese beiden Cylinder und das Gefäss *A* sind mit Wasser gefüllt. Die Poldrähte der beiden Elektroden sind mit Klemmschrauben $+p$ und $-p$ versehen. Wird $+p$ mit dem positiven Pol, $-p$ mit dem negativen Pol einer galvanischen Säule verbunden, so verdrängt der an der Anode [siehe Antwort auf Frage 272 unter 3).] auftretende Sauerstoff einen seinem Volum entsprechenden Teil des Wassers im Glascylinder *S*, und der an der Katode [siehe Antwort auf Frage 272 unter 4).] auftretende Wasserstoff ebenso das Wasser in *W* (siehe Erkl. 436).

2). Die beiden Glasgefässe *A* und *B*, siehe Figur 151, tragen oben und an den Seiten je einen Hals *a* und *b* bezw. a_1 und b_1 und sind mit ihren Oeffnungen bei *c* genau luftdicht passend aufeinander geschliffen. Die Oeffnung bei *c* ist durch eine eingekittete poröse Thonscheibe ausgefüllt. Durch die mit Korken verschlossenen Hälse *b* bezw. b_1 führen Platindrähte $+p$ und $-p$, welche als Elektroden dienende runde Platinscheiben tragen. Die beiden Gefässe *A* und *B* sind durch zwei Bretter mittels Schrauben s_1 s_2 s_3 gegeneinander gepresst, so

Erkl. 437. Der in nebenstehender Antwort unter 2). beschriebene Apparat dient zur Zersetzung von Wasser in grösserem Massstabe.

Figur 152.



Erkl. 438. Der in nebenstehender Antwort unter 3). beschriebene, von *A. W. Hofmann* angegebene Apparat dient häufig zu Vorlesungsversuchen, da man mit demselben bequem die chemischen Eigenschaften des Sauerstoffs und Wasserstoffs untersuchen kann (siehe die Erkl. 439 und 440).

Erkl. 439. Man erkennt den Sauerstoff an seinem chemischen Verhalten. Bringt man z. B. einen glimmenden Holzspan in ein mit reinem Sauerstoff gefülltes Gefäss, so verbrennt der Span. In gleicher Weise verbrennt ein Stahlbändchen oder eine stählerne Uhrfeder, wenn man an dem einen Ende ein Stückchen glimmenden Zunder befestigt und dieses Ende des Bändchens in ein mit Sauerstoff gefülltes Gefäss senkt.

Erkl. 440. Den Wasserstoff erkennt man z. B. daran, dass er angezündet mit schwach leuchtender Flamme verbrennt. Wird ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff angezündet, so explodiert es unter heftigem Knall. Ein Glasgefäss, in welchem diese Explosion vorgenommen wird, kann zertrümmert werden, weshalb dieses Experiment mit grosser Vorsicht auszuführen ist. Zur gefahrlosen Ausführung desselben kann man das Gemisch beider Gase, das Knallgas (siehe Erkl. 210), in kleiner Menge in eine Schale voll Seifenschaum leiten und, nachdem sich eine kleine Seifenblase ge-

dass ihre Oeffnungen bei *c* luftdicht schliessen. Dieselben werden mit angesäuertem Wasser gefüllt und alsdann in die Hälse *a* und a_1 Z förmige Röhren mittels genau schliessender Korke eingesetzt. Werden die beiden Drähte $+p$ und $-p$ mit den Polen einer galvanischen Säule verbunden, so entwickeln sich an den Elektroden die beiden Gase, treten an den freien Enden der in *a* und a_1 endenden Glasröhren aus und können in der in Erkl. 444 beschriebenen Weise in zwei Glascylindern, siehe Figur 154, aufgefangen werden (siehe Erkl. 437).

3). Eine U förmig gebogene Glasröhre *AB*, siehe Figur 152, ist an einem eisernen Stativ befestigt. Am untersten Teile derselben ist ein Rohr *C* angeschlossen, welches oben einen Trichter *D* trägt. *A* und *B* sind an ihren oberen Enden zu dünnen Oeffnungen ausgezogen und dort mit Glashähnen *E* und *F* versehen. Bei *G* und *H* sind Platindrähte eingeschmolzen, welche innerhalb der Röhrenschenkel die beiden Platinelektroden tragen und an den beiden Klemmschrauben $+p$ und $-p$ befestigt sind.

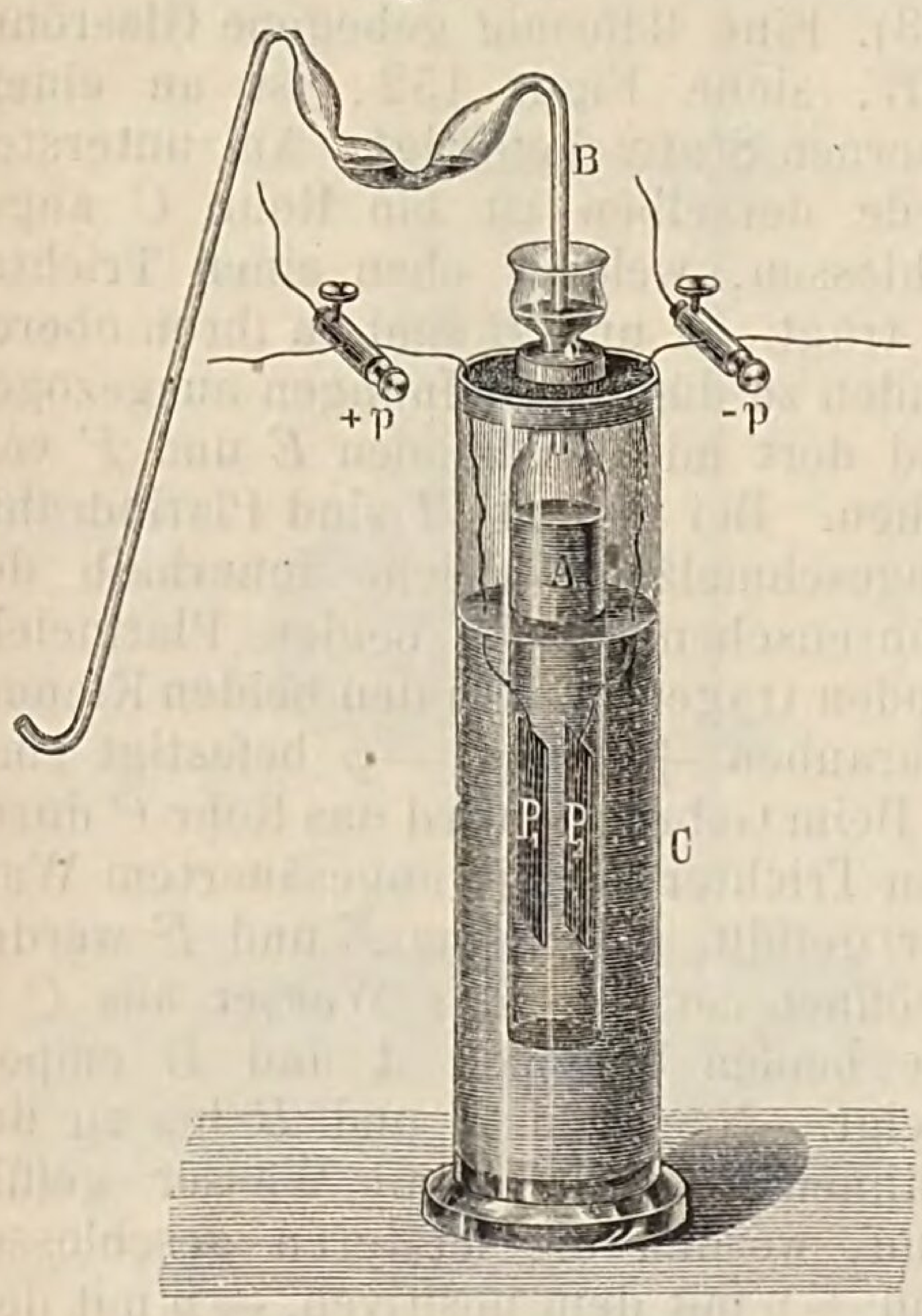
Beim Gebrauch wird das Rohr *C* durch den Trichter *D* mit angesäuertem Wasser gefüllt, die Hähne *E* und *F* werden geöffnet, so dass das Wasser aus *C* in die beiden Schenkel *A* und *B* emporsteigt. Nachdem *A* und *B* bis zu den Hähnen *E* und *F* mit Wasser gefüllt sind, werden die letzteren geschlossen und $+p$ mit dem positiven, $-p$ mit dem negativen Pol einer galvanischen Säule verbunden. Die bei der Wasserzersetzung gebildeten Gase verdrängen nun in *A* und *B* einen entsprechenden Raumteil (Volumen) Wasser; sie sammeln sich unter den Hähnen *E* und *F* an und können entweder in *A* und *B* selbst untersucht werden [siehe unter 1).] oder in grösseren Mengen in besonderen Behältern getrennt aufgefangen werden, wobei man sich, ähnlich wie bei dem unter 2). beschriebenen Apparat, der in Figur 154 (siehe Erkl. 444) dargestellten Einrichtung bedient (siehe die Erkl. 438—441).

bildet hat, dieselbe mit einem etwa 10 Centimeter langen brennenden Span anzünden (siehe Erkl. 441).

Erkl. 441. Ausführliches über die Eigenschaften des Sauerstoffs und Wasserstoffs findet man in dieser Encyklopädie im Lehrbuch der Experimental-Chemie von *W. Steffen.*

Frage 279. Worin besteht die Einrichtung und der Gebrauch der bekanntesten Wasserzersetzungsapparate, in welchen die beiden Gase gemischt gewonnen werden?

Figur 153.



Erkl. 442. Die Schwefelsäure in den Erweiterungen von *B*, siehe Figur 153, dient zum Trocknen des stets feuchten Knallgases (siehe die Erkl. 75 und 219).

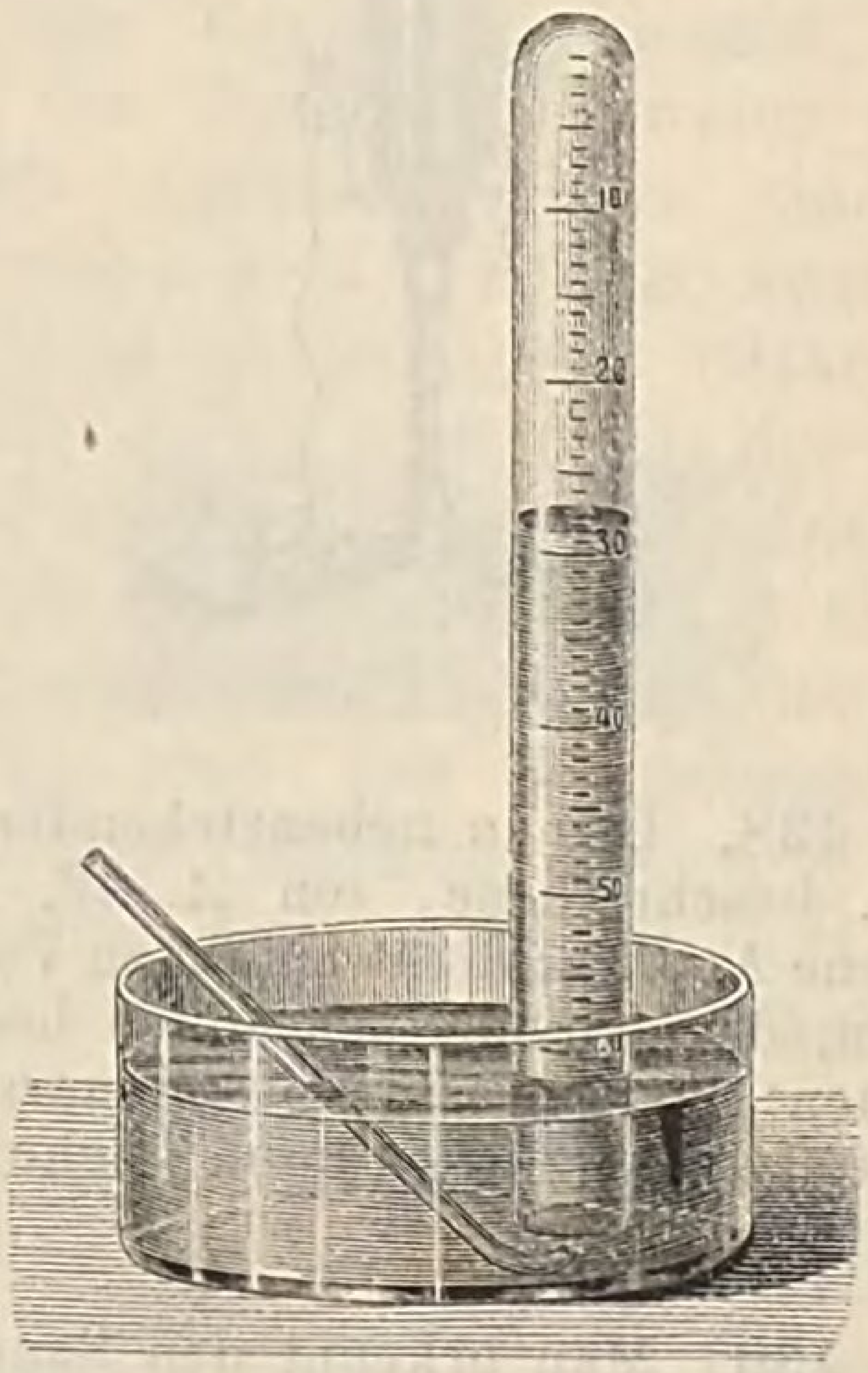
Erkl. 443. Der in nebenstehender Antwort unter 2). beschriebene Apparat dient zur Darstellung chemisch reinen Knallgases.

Erkl. 444. Um die in den verschiedenen Wasserzersetzungsapparaten (siehe nebenstehende und vorige Antwort) gewonnenen Gase bequem aufzufangen, kann man sich der pneumatischen Wanne bedienen. Dieselbe besteht in ihrer einfachsten Form aus einem Gefäss, siehe Figur 154, welches mit Wasser, oder falls man die Gase trocken auffangen will, mit Quecksilber gefüllt ist. In dieses Gefäss wird der zur Aufnahme des Gases bestimmte Glascylinder, mit Wasser bezw. Quecksilber gefüllt, mit dem offenen Ende nach unten eingesetzt. Dieser

Antwort. Die bekanntesten Wasserzersetzungsapparate, in welchen die beiden Gase gemischt gewonnen werden, sind:

1). Der gewöhnliche Wasserzersetzungsapparat (siehe Antwort auf Frage 159 und Figur 104).

Figur 154.



2). Der Wasserzersetzungsapparat von *Bunsen.* Die Einrichtung des letzteren ist folgende:

Ein unten geschlossener Glascylinder *A*, siehe Figur 153, in dessen Wände zwei Platindrähte eingeschmolzen sind. Diese Platindrähte tragen innerhalb des Cylinders *A* die Platinelektroden P_1 und P_2 und sind mit den Klemmschrauben $+p$ und $-p$ verbunden. Der Cylinder *A* trägt oben einen trichterförmigen Hals, in welchen das Glasrohr *B* genau passend eingeschliffen ist. Das Glasrohr besitzt drei birnförmige Erweiterungen.

Beim Gebrauch füllt man den Cylinder *A* mit verdünnter Schwefelsäure, setzt denselben in das mit Weingeist gefüllte

Cylinder wird durch eine beliebige Vorrichtung so hoch über dem Boden der Wanne gehalten, dass das Gaszuleitungsrohr des Wasserzersetzungsapparats unter die Oeffnung des Cylinders gebracht werden kann.

Erkl. 445. Ueber die Wasserzersetzungsapparate, welche zur Messung der Stromstärke dienen, siehe die Antworten auf die Fragen 159 bis 163.

Kühlgefäss *C* ein, füllt die Erweiterungen des Rohres *B* halb mit konzentrierter Schwefelsäure (siehe Erkl. 442) und passt das Rohr *B* sorgfältig in den Hals des Trichters ein. Um hierbei einen sicheren luftdichten Verschluss zu erzielen, kann man in den Trichter etwas Quecksilber giessen (siehe die Erkl. 443—445).

c). Ueber die Volumverhältnisse des elektrolytisch abgeschiedenen Sauerstoffs und Wasserstoffs.

Frage 280. Was kann man in bezug auf die Volumverhältnisse des Sauerstoffs und Wasserstoffs aussagen, welche man bei der galvanischen Zersetzung des Wassers erhält?

Antwort. Wird der in Antwort auf Frage 278 unter 1). oder 3). beschriebene Wasserzersetzungsapparat in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet, so erhält man, wie lange auch der elektrische Strom durch den Apparat fliesst, und wie stark der Strom auch sei, stets ein doppelt so grosses Volumen Wasserstoff als Sauerstoff. Für 1 Kubikcentimeter Sauerstoff erhält man also 2 Kubikcentimeter Wasserstoff, für 6 Kubikcentimeter Sauerstoff 12 Kubikcentimeter Wasserstoff u. s. f.

Frage 281. Durch welche Vorgänge kann das Volumverhältnis der bei der galvanischen Wasserzersetzung entwickelten Gase verändert werden?

Antwort. Das Volumverhältnis der bei der galvanischen Wasserzersetzung entwickelten Gase kann durch besondere Vorgänge verändert werden. Die bemerkenswertesten dieser Vorgänge sind folgende:

1). Ein Teil der entwickelten Gase kann durch das Wasser absorbiert werden (siehe Antwort auf Frage 282);

2). ein Teil der Gase kann durch die Elektroden absorbiert werden (siehe Antwort auf Frage 283);

3). ein Teil des Sauerstoffs kann als Ozon auftreten (siehe Antwort auf Frage 284);

4). es kann Wasserstoffsuperoxyd und Ueberschwefelsäure gebildet werden (siehe Antwort auf Frage 285);

5). ein Teil des Sauerstoffs kann die Anode oxydieren (s. Antw. auf Frage 286);

6). bei der Umkehrung der Stromrichtung in dem Wasserzersetzungsapparat tritt eine teilweise Rückbildung von Wasser ein (siehe Antwort auf Frage 287).

Frage 282. Was kann man über die bei der galvanischen Wasserzersetzung stattfindende Absorption der Gase durch das Wasser aussagen?

Antwort. Bei der galvanischen Wasserzersetzung wird ein kleiner Teil der Gase durch das Wasser absorbiert (zurückgehalten). Das Wasser absorbiert etwa 4 mal soviel Sauerstoff als Wasserstoff, es werden somit durch diese Absorption die Volumen der entweichenden Gase etwas vermindert, und zwar wird das Volum des Sauerstoffs etwas stärker vermindert als das des Wasserstoffs (siehe die Erkl. 446 und 447).

Erkl. 446. 1 Kubikmeter Wasser absorbiert bei mittlerem Barometerstand (760 Millimeter) und 0° Celsius 0,04115 Kubikmeter Sauerstoff und 0,0193 Kubikmeter Wasserstoff (siehe Erkl. 447).

Erkl. 447. Wird das Wasser, welches Gase absorbiert hat, erwärmt, so entweichen die absorbierten Gase. Siedendes Wasser vermag keinen Sauerstoff oder Wasserstoff zu absorbieren.

Frage 283. Was kann man in bezug auf die Absorption der Gase durch die Elektroden aussagen?

Antwort. Ein Teil der bei der Wasserzersetzung auftretenden Gase wird durch die Elektroden absorbiert. Die Absorptionsfähigkeit von Elektroden aus verschiedenen Metallen ist verschieden, bei den meisten Metallen ist sie gering. Die bemerkenswertesten Erscheinungen sind die folgenden:

1). Wird ein Palladiumdraht als Katode in schwefelsäurehaltigem Wasser angewendet, so vermag er das 936 fache seines Volumens an Wasserstoff zu absorbieren, wobei er sich um 5 % seines Volumens ausdehnt. Die Absorptionsfähigkeit eines palladinierten Palladiumdrahts für Wasserstoff ist noch grösser (siehe Erkl. 448).

2). Platinierte Platinelektroden beladen sich bei der Wasserzersetzung mit Sauerstoff bezw. Wasserstoff (siehe die Erkl. 56 und 58).

3). Wird ein poröser Nickelwürfel als Katode in schwefelsäurehaltigem Wasser angewendet, so absorbiert er das 165-fache seines Volumens an Wasserstoff. Beim Eintauchen in Wasser gibt er den absorbierten Wasserstoff in 2 bis 3 Tagen allmählich wieder ab. Nach 4 bis 5-maliger Wiederholung dieses Versuchs zerbröckelt er (siehe Erkl. 449).

4). Wird ein Eisendraht in sehr verdünnter Schwefelsäure als Katode verwendet, so absorbiert er Wasserstoff und wird bald brüchig; wird er alsdann erhitzt, so verliert er die Eigenschaft der Brüchigkeit wieder

Erkl. 448. Unter einem palladinierten Palladiumdraht versteht man einen solchen Palladiumdraht, welcher mit Palladiumschwamm überzogen ist. Ein Palladiumdraht kann palladiniert werden dadurch, dass er als Katode in einer Lösung von Chlorpalladium angewendet wird, ähnlich wie ein Platindraht mit Platinschwamm überzogen wird (siehe Erkl. 56).

Erkl. 449. Kompaktes (dichtes) Nickel absorbiert den Wasserstoff nicht.

Frage 284. Was kann man über die Bildung von Ozon bei der galvanischen Wasserzersetzung aussagen?

Antwort. Ueber die Bildung von Ozon bei der galvanischen Wasserzersetzung kann man im allgemeinen folgendes aussagen:

1). Ein kleiner Teil des bei der galvanischen Wasserzersetzung frei werdenden Sauerstoffs tritt als Ozon auf (siehe Beispiel zu Erkl. 411);

2). bei Anwendung einer Mischung von 1 Teil Schwefelsäure und 5 Teilen Wasser und Elektroden aus Platin-Iridium, und bei Abkühlung der Zersetzungszelle durch Eis und Kochsalz kann man nach *Soret* bis zu 2 % Ozon erhalten (siehe die Erkl. 450 und 451).

Da nun das Molekul des Ozons 3 Atome Sauerstoff enthält, während das Molekul des Sauerstoffs aus 2 Atomen Sauerstoff besteht, so wird durch die Bildung von Ozon das Volumen des erhaltenen Sauerstoffs verringert (siehe die Erkl. 407, 411, 415 und 416).

Erkl. 450. Wird 1 Pfund Schnee oder feingestossenes Eis mit 3 Pfund Kochsalz von 0° Celsius gemengt, so sinkt die Temperatur dieses Gemischs auf —20°. Eine solche Mischung nennt man daher eine Kältemischung.

Erkl. 451. Ueber den Nachweis des Ozons siehe in dieser Encyklopädie das Lehrbuch der Experimental-Chemie von *W. Steffen.*

Frage 285. Was kann man über die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd und Ueberschwefelsäure bei der galvanischen Wasserzersetzung aussagen?

Antwort. Ueber die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd und Ueberschwefelsäure bei der galvanischen Wasserzersetzung kann man folgendes aussagen:

Wird für die galvanische Wasserzersetzung eine Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,4 angewendet und die Zersetzungszelle gekühlt, so erhält man nach *Meidinger* weniger als die Hälfte des berechneten Volumens des Sauerstoffs; diese Verringerung rührt zum kleinen Teil von der Bildung von Ozon her (siehe vorige Antwort), hauptsächlich aber von der Bildung von Wasserstoffsuperoxyd und Ueberschwefelsäure (siehe Erkl. 452).

Erkl. 452. Nach *Berthelot* bildet sich bei der galvanischen Zersetzung von schwefelsaurem Wasser hauptsächlich Ueberschwefelsäure.

Frage 286. Was kann man über die Oxydation der Anode bei der galvanischen Wasserzersetzung aussagen?

Antwort. Besteht die Anode eines Wasserzersetzungsapparats aus einem oxydierbaren Metall (siehe Erkl. 426), so verbindet sich der an der Anode ausgeschiedene Sauerstoff ganz oder teilweise mit dem Metall.

1. Beispiel. Besteht die Anode aus Alu-

Erkl. 453. War eine bei der galvanischen Wasserzersetzung verwendete Platinkatode vor dem Gebrauch längere Zeit der Einwirkung der Luft ausgesetzt, so zeigt sich die Entwick-

lung von Wasserstoff erst einige Sekunden nach dem Schliessen des elektrischen Stroms, weil der von der Platinplatte aus der Luft absorbierte Sauerstoff [siehe Antwort auf Frage 283 unter 2).] sich mit dem zuerst an der Platte entwickelten Wasserstoff zu Wasser oxydiert.

minium (Al), so bildet sich Thonerde (Al_2O_3) und wahrscheinlich auch Aluminiumsuboxyd und freier Sauerstoff.

2. Beispiel. Eine Anode aus Blei bildet auf ihrer Oberfläche mit dem Sauerstoff Bleisuperoxyd (PbO_2).

3. Beispiel. Eine Anode aus Kupfer bildet auf ihrer Oberfläche Kupferoxyd (siehe Erkl. 453).

Frage 287. Was kann man über die Rückbildung von Wasser bei der Umkehrung der Stromrichtung in einem Wasserzersetzungsapparat aussagen?

Antwort. Kehrt man die Richtung des elektrischen Stroms, nachdem derselbe einige Zeit den Wasserzersetzungsapparat durchflossen hatte, mittels eines Kommutators um (siehe Antw. auf Frage 145 und Erkl. 195), so verbinden sich die nunmehr auftretenden Gase mit den vorher an den Elektroden ausgeschiedenen Gasen wieder zu Wasser, so dass das Volumen der durch den elektrischen Strom ausgeschiedenen Gase verkleinert wird.

Je grösser die Elektroden sind, ein um so grösserer Teil der entwickelten Gase wird hierbei in Wasser zurückverwandelt.

D). Ueber die Elektrolyse geschmolzener Chlormetalle.

Frage 288. Welcher Vorgang findet statt, wenn ein elektrischer Strom durch geschmolzene Chlormetalle geleitet wird?

Erkl. 454. Das in nebenstehender Antwort erwähnte Verhalten geschmolzener Chlormetalle ist geeignet zur Gewinnung einer Anzahl von Metallen, welche aus ihren Verbindungen schwer abzuscheiden sind.

Antwort. Wird ein elektrischer Strom durch ein geschmolzenes Chlormetall geleitet, so wird dasselbe in Metall und Chlor zersetzt, das Chlor scheidet sich als Anion an der Anode, das Metall als Kation an der Katode aus. Besteht die Anode aus Kohle, so entweicht das Chlor als Gas; besteht sie aus einem Metall, so verbindet sich das Chlor mit diesem Metall (siehe Erkl. 454).

Frage 289. Welches sind die bemerkenswertesten Elektrolysen geschmolzener Chlormetalle?

Antwort. Einige der bemerkenswertesten Elektrolysen geschmolzener Chlormetalle sind:

1). Die Elektrolyse von Chlorlithium (siehe Antwort auf Frage 290),
2). die Elektrolyse von Chlorcalcium (siehe Antwort auf Frage 291),

3). die Elektrolyse von Chlormagnesium (siehe Antwort auf Frage 292),
4). die Elektrolyse von Chloraluminium (siehe Antwort auf Frage 293),
5). die Elektrolyse von Chlorkalium (siehe Erkl. 457),
6). die Elektrolyse von Chlornatrium (siehe Erkl. 457).

Frage 290. In welcher Weise kann man die Elektrolyse des geschmolzenen Chlorlithiums ausführen?

Antwort. Die Elektrolyse des Chlorlithiums kann man auf verschiedene Weise ausführen:

1). Man schmelze dasselbe in einem starken Porzellantiegel, in welchen ein spitzes Stück Retortenkohle (siehe Erkl. 131) als Anode und ein nadeldicker Eisendraht als Katode eingesenkt ist. Das an dem Draht sich abscheidende Lithium hebe man mit einem Löffel in der Weise heraus, dass es mit geschmolzenem Chlorlithium überzogen und somit vor der Verbrennung an der Luft geschützt ist, kühle es unter Steinöl ab und reinige es alsdann mit einem Messer von dem dasselbe umhüllenden erstarrten Chlorlithium.

2). Man stecke durch die Röhre einer Thonpfeife bis in den Kopf derselben einen Eisendraht und tauche den Pfeifenkopf mit der Oeffnung nach unten in das schmelzende Chlorlithium [siehe 1).], welchem etwas Chlorammonium beigemengt ist. Dann verbinde man das Ende der Röhre mittels Gummischlauch mit einer Glasröhre und leite durch diese Glasröhre Wasserstoffgas in den Pfeifenkopf ein. Nachdem die Pfeife mit dem Gas gefüllt ist, sperre man den Gummischlauch durch einen Quetschhahn ab. Hierbei sammelt sich das abgeschiedene Lithium auf der Oberfläche der geschmolzenen Masse an. Nach Beendigung des Versuchs lasse man dieselbe erkalten, zerschlage eine Stunde nach dem Erkalten den Pfeifenkopf und nehme das Lithium heraus.

Frage 291. Wie kann man die Elektrolyse von geschmolzenem Chlorcalcium ausführen?

Antwort. Um die Elektrolyse von Chlorcalcium auszuführen, schmelze man ein Gemenge von Chlorcalcium,

Erkl. 455. Bei Anwendung einer sehr schmalen Katode bei der Elektrolyse von geschmolzenen Chlormetallen wird die Stromdichte an der Katode stark vergrössert (siehe Erkl. 456). Infolgedessen ist die Wirkung des elektrischen Stroms auf eine verhältnismässig kleine Fläche zusammengedrängt; die leicht oxydierbaren Metalle (siehe Erkl. 426) werden also in dichten Mengen erhalten, so dass sie vor der Oxydation mehr geschützt werden.

Erkl. 456. Unter der Stromdichte versteht man ein Verhältnis zwischen der Stromstärke und dem Querschnitt einer bestimmten Stelle des von dem Strom durchflossenen Leiters. Die Stromdichte ist an einer bestimmten Stelle des Stromkreises bei gleichbleibender Stromstärke um so grösser, je kleiner der Querschnitt an dieser Stelle ist, sie ist bei gleichbleibendem Querschnitt an jener bestimmten Stelle um so grösser, je grösser die Stromstärke in dem Stromkreis ist.

Erkl. 457. Die Elektrolyse von Chlorkalium und Chlornatrium wird in der in nebenstehender Antwort beschriebenen Weise ausgeführt, wobei man diese Chlormetalle rein oder auch gemischt mit Chlorcalcium anwenden kann.

Chlorstrontium und Chlorammonium in einem kleinen Porzellantiegel, tauche als Anode ein Stück Bunsenscher Kohle (siehe Erkl. 128), als Katode einen Klaviersaitendraht, letzteren aber nur 2—4 Millimeter tief in die schmelzende Masse (siehe Erkl. 455) und erhalte die Hitze in dem Tiegel auf dem Grad, bei welchem die Masse an dem Draht noch nicht flüssig ist, so dass sie eine Kruste bildet. Das unter dieser Kruste sich sammelnde Calcium hebe man von Zeit zu Zeit mittels des Drahts heraus, bringe es unter Steinöl und reinige es nach dem Erkalten von der umgebenden Masse.

Frage 292. Wie kann man die Elektrolyse des geschmolzenen Chlormagnesiums ausführen?

Figur 155.



Figur 156.



Erkl. 458. Da das Magnesium spezifisch leichter ist als das geschmolzene Chlormagnesium, so steigt es in demselben in die Höhe. Die in nebenstehender Antwort erwähnten Einschnitte an der Katode haben den Zweck, das Magnesium in der geschmolzenen Masse festzuhalten, weil dasselbe bei der hohen Temperatur der geschmolzenen Masse an der Oberfläche bei der Berührung mit dem Sauerstoff der Luft zu Magnesiumoxyd (Magnesia, MgO) verbrennen würde.

Erkl. 459. Die Mischung des Chlormagnesiums mit Chlorkalium [siehe nebenstehende Antwort unter 2).] ist spezifisch leichter als das Magnesium, weshalb letzteres auf dem Boden der Pfeife bleibt.

Antwort. Die Elektrolyse des Chlormagnesiums kann man ausführen wie folgt:

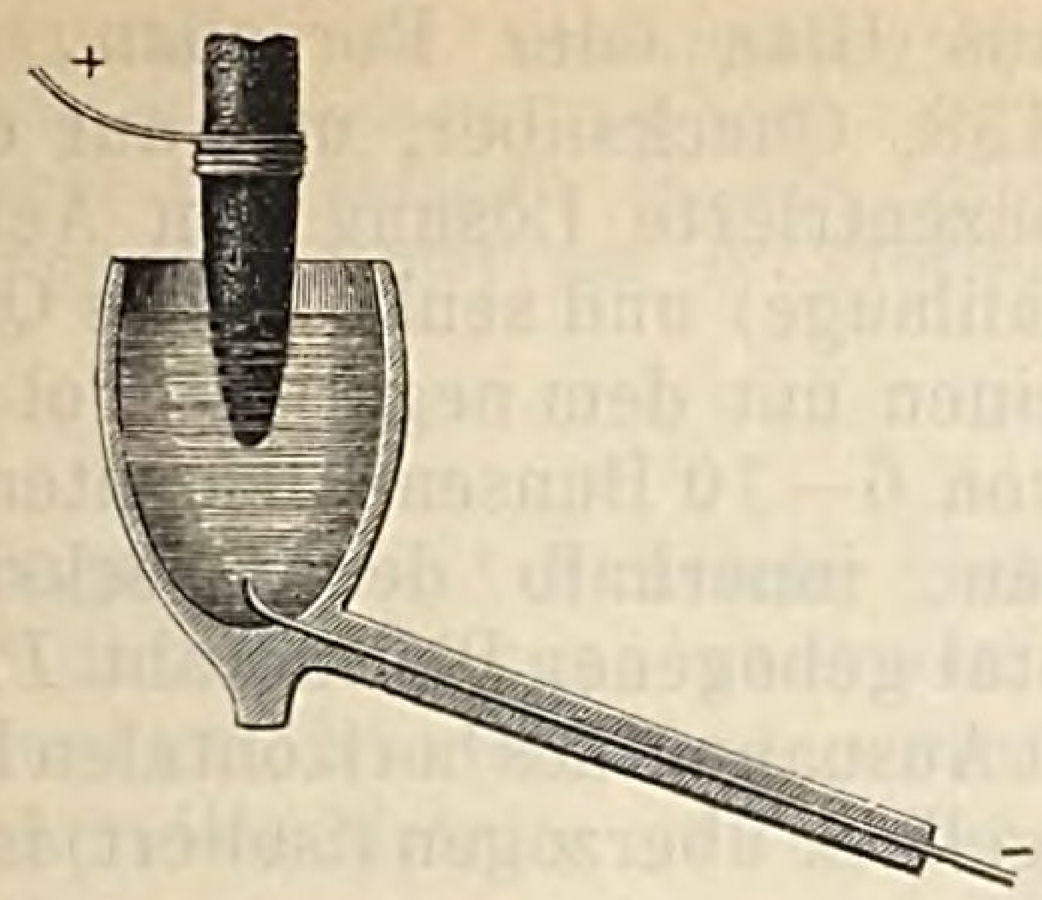
1). Ein Porzellantiegel, siehe Figur 155, ist durch eine bis fast auf dessen Boden gehende Scheidewand in zwei Abteilungen geteilt. Derselbe besitzt einen Porzellandeckel, siehe Figur 156, in welchem die beiden Elektroden aus Kohle befestigt sind. Die Elektroden sind etwas gekrümmt, und die Katode ist mit sägeförmigen Einschnitten versehen.

In diesem Tiegel schmelze man Chlormagnesium, setze den Deckel so auf, dass jede der beiden Elektroden in eine der beiden Abteilungen des Tiegels hineinreicht und verbinde die beiden Elektroden mit den Polen einer Säule von 10 Bunsenschen Elementen (siehe Antwort auf Frage 104).

Das Chlormagnesium wird zerlegt in Chlor, welches an der Anode als Gas entweicht, und in Magnesium. Letzteres setzt sich in den Ausschnitten der Katode an (siehe Erkl. 455).

2). Ein anderes Verfahren ist das folgende: Man führe in die Röhre eines

Figur 157.



Pfeifenkopfes, siehe Fig. 157, einen Eisendraht bis zum Boden des Kopfes ein, schmelze in dem Pfeifenkopf das Chlormagnesium, welches zu gleichen Teilen mit Chlorkalium gemengt ist (siehe Erkl. 459), stecke eine mit dem positiven Pol der Säule verbundene Kohlenanode in den Kopf und verbinde den als Katode dienenden Eisendraht mit dem negativen Pol der Säule. Das abgeschiedene Magnesium setzt sich an dem Boden des Pfeifenkopfes ab.

Frage 293. Wie kann man die Elektrolyse des geschmolzenen Chloraluminiums ausführen?

Antwort. Um die Elektrolyse des Chloraluminiums auszuführen, schmelze man dasselbe in einem Uförmigen Rohr und senke in den einen Schenkel des Rohres eine Anode aus Kohle, in den andern Schenkel eine Katode aus Platindraht ein. Das Aluminium scheidet sich an der Katode aus.

E). Ueber die Elektrolyse der Alkalien und Erden.

Frage 294. Welcher Vorgang findet statt, wenn Alkalien und Erden von einem elektrischen Strom durchflossen werden?

Erkl. 460. Als Alkali-Metalle fasst man in der Chemie die Metalle Kalium, Natrium, Cäsium, Rubidium, Lithium zusammen. Die bekanntesten Alkali-Metalle sind Kalium und Natrium.

Erkl. 461. Als Metalle der alkalischen Erden (Erdalkali-Metalle) bezeichnet man die Metalle Baryum, Calcium und Strontium.

Erkl. 462. Als Erdmetalle bezeichnet man eine Reihe von Metallen, deren wichtigste das Magnesium und Aluminium sind.

Antwort. Der Vorgang, welcher stattfindet, wenn Alkalien und Erden (siehe die Erkl. 460 bis 462) von einem elektrischen Strom durchflossen werden, ist im allgemeinen der folgende:

Aus den Alkalien und Erden scheidet sich an der Anode Sauerstoff und an der Katode das betreffende Metall ab. Je nach dem bei dieser Elektrolyse angewendeten Verfahren geht das abgeschiedene Metall eine sekundäre Verbindung ein (siehe Erkl. 433), oder auch, es bleibt zum Teil als solches erhalten.

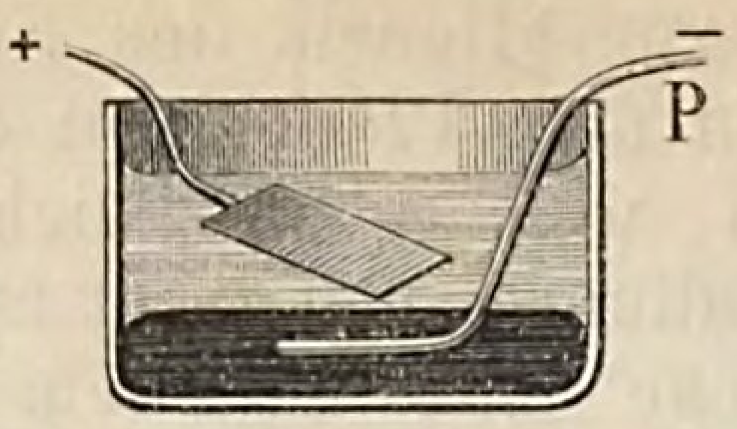
Frage 295. Welche Bedeutung hat die Elektrolyse der Alkalien und Erden für die Chemie?

Antwort. Die Elektrolyse der Alkalien und Erden ist für die Chemie von Bedeutung, und zwar als Methode der Darstellung (Gewinnung) der betreff. Metalle.

Frage 296. Welche Methoden kann man zur Gewinnung von Kalium durch Elektrolyse des Aetzkalis anwenden?

Antwort. Zur Gewinnung von Kalium durch Elektrolyse des Aetzkalis, d. i. Kaliumhydroxyd (siehe Beispiel zu Erkl. 425) kann man die folgenden Methoden anwenden:

Figur 158.



Erkl. 463. Zur Trennung des Kaliums von dem Quecksilber erhitze man das bei dem in nebenstehender Antwort unter 1). beschriebenen Experiment erhaltene Kaliumamalgam im luftfreien Raum. Hierbei wird das Quecksilber destilliert (d. h. es entweicht in Dampfform), das Kalium dagegen bleibt zurück. Das Kalium muss unter Steinöl aufbewahrt werden, da es an der Luft rasch oxydiert. Ausführliches über diese chemischen Manipulationen findet man in dieser Encyklopädie in dem Lehrbuch der Experimental-Chemie von *W. Steffen*.

Erkl. 464. Kalium (K) hat eine starke Verwandtschaft zum Sauerstoff (O). Wird Kalium an der Luft erhitzt, so verbrennt es mit dem Sauerstoff der Luft zu Kaliumoxyd:

$$K_2 + O = K_2O$$

Dieses nimmt alsbald aus der Umgebung die Bestandteile des Wassers (H_2O) auf und bildet Kaliumhydroxyd:

$$K_2O + H_2O = 2\,KOH$$

Erkl. 465. Bei dem in nebenstehender Antwort unter 3). beschriebenen Versuch sind die Kaliumkügelchen meist sehr klein und verteilen sich in dem geschmolzenen Teil des Aetzkalis. Um das Vorhandensein von metallischem Kalium hierbei nachzuweisen, lasse man das Aetzkali erkalten und bringe es in Wasser. Das Kalium (K) verbindet sich alsdann mit den Bestandteilen des Wassers (H_2O) zu Kaliumhydroxyd(KOH), wobei Wasserstoff(H) entweicht, was man an einer deutlichen Entwicklung von Gasbläschen wahrnimmt. Der chemische Vorgang ist folgender:

$$K + H_2O = KOH + H$$

Erkl. 466. Im Jahre 1807 führte *Davy* die Elektrolyse des Kalis und Natrons zuerst aus, wobei er die beiden Alkali-Metalle Kalium und Natrium entdeckte. Die Alkalien hatten bis dahin für chemische Elemente gegolten (siehe Erkl. 410). *Davy* bewirkte die Elektrolyse der Alkalien mit einer Säule von bis zu 250 Voltaschen Bechern, welche mit auf das 40fache mit Wasser verdünnter Salzsäure beschickt waren.

1). Man giesse in ein flaches Schälchen aus Glas oder Porzellan, siehe Figur 158, Quecksilber, und auf dieses eine konzentrierte Lösung von Aetzkali (sog. Kalilauge) und senke in das Quecksilber einen mit dem negativen Pol einer Säule von 6—10 Bunsen-Elementen verbundenen, innerhalb des Quecksilbers horizontal gebogenen Platindraht *P*, welcher mit Ausnahme des horizontalen Endes mit Siegellack überzogen (isoliert) ist. In die Kalilauge senke man eine mit dem positiven Pol der Säule verbundene Platinplatte. Der durch die Elektrolyse des Aetzkalis an der Anode auftretende Sauerstoff entweicht. Das an der Oberfläche der Quecksilberkatode ausgeschiedene Kalium wird hierbei von dem Quecksilber aufgenommen und bildet unter Erwärmung mit demselben Kaliumamalgam (siehe Erkl. 463), welches nach dem Erkalten erstarrt.

2). Man bohre in ein Stück festes Kali ein Loch und giesse Quecksilber hinein, lege das Stück Kali auf ein als Anode dienendes Platinblech und tauche den negativen Poldraht der Säule in das Quecksilber. Der Vorgang ist der gleiche, wie unter 1). beschrieben.

3). Man lege ein auf der Oberfläche feuchtes Stückchen Kali auf eine als Anode dienende Platinplatte und berühre es mit einem mit dem negativen Poldraht verbundenen Platindraht. Hierbei schmilzt das Aetzkali an der Oberfläche, an der Anode entweicht Sauerstoff in kleinen Bläschen, an dem Platindraht (der Katode) entweicht Wasserstoff und es bilden sich kleine Kügelchen von Kalium. Dieselben verbrennen an der Luft wieder zu Kaliumoxyd, welches alsbald in Kaliumhydroxyd (Aetzkali) übergeht (siehe Erkl. 464). Zieht man den Platindraht jedoch aus dem Aetzkali heraus und taucht ihn rasch mit den anhängenden Kaliumkügelchen in Steinöl, so erhält man einen Teil des abgeschiedenen Kaliums.

Frage 297. Welches sind die bekanntesten Methoden zur Gewinnung von Natrium durch Elektrolyse des Aetznatrons?

Antwort. Um das Natrium durch Elektrolyse des Aetznatrons zu ge-

winnen, wende man die in voriger Antwort beschriebenen Methoden auf Aetznatron an. Der Vorgang ist dem in voriger Antwort beschriebenen ganz analog, da das Natrium in seinen Eigenschaften dem Kalium sehr ähnlich ist (siehe Erkl. 467).

Erkl. 467. Die Beschreibung der Eigenschaften des Kaliums und Natriums findet man in dieser Encyklopädie in dem Lehrbuch der Experimental-Chemie von *W. Steffen*.

Frage 298. Auf welche Weise kann man durch Elektrolyse von Kalk, Strontian, Baryt, Magnesia die entsprechenden Metalle gewinnen?

Antwort. Um durch Elektrolyse von Kalk, Strontian, Baryt oder Magnesia die entsprechenden Metalle Calcium, Strontium, Baryum, Magnesium zu gewinnen, forme man aus dem betreffenden feuchten Hydrat ein Schälchen, giesse Quecksilber hinein und verfahre nach voriger Antwort. Hierbei erhält man das Amalgam des betreffenden Metalls.

F). Ueber die Elektrolyse in Wasser gelöster Salze.

Frage 299. Was kann man im allgemeinen über die Elektrolyse von in Wasser gelösten Salzen aussagen?

Antwort. Die Elektrolyse von in Wasser gelösten Salzen geht sehr verschiedenartig von statten. Die eigentliche Elektrolyse ist in den zahlreichsten Fällen von mehr oder weniger verwickelten, rein chemischen (sekundären) Prozessen begleitet, infolgederen weitere (sekundäre) Produkte entstehen (siehe Erkl. 468).

Erkl. 468. In nachstehender Tabelle sind einige Beispiele von Vorgängen bei der Elektrolyse von Salzlösungen nach *J. Müller* aufgeführt. Durch diese Beispiele sind jedoch alle hierher gehörigen Erscheinungen keineswegs erschöpft. Weitere Beispiele findet man in dieser Encyklopädie, sofern dieselben eine technische Bedeutung haben, in *Mays* Lehrbuch der Elektrolyse, sofern sie in bezug auf die Chemie von Wichtigkeit sind, in den Lehrbüchern der Chemie von *W. Steffen*.

In nachstehender Tabelle ist derjenige Vorgang, welcher durch die Wirkung des elektrischen Stroms bedingt ist (der primäre Vorgang) mit I, die durch das chemische Verhalten des Körpers allein bedingten sekundären Vorgänge mit II bezeichnet.

Beispiele der Elektrolyse einiger in Wasser gelöster Salze.

Elektrolyt	Katode	Kation	Primärer (I) und sekundärer (II) Vorgang	Anion	Anode
1). Chlorzink ($ZnCl_2$)	Platin	Zn	I. Das Salz wird in Zink und Chlor zerlegt: $ZnCl_2 = Zn + Cl_2$ Das Chlor wird zum Teil von der Flüssigkeit gelöst, zum Teil entweicht es an der Anode als Gas.	Cl_2	Kohle

Elektrolyt	Katode	Kation	Primärer (I) und sekundärer (II) Vorgang	Anion	Anode
2). Schwefelsaures Kupfer ($CuSO_4$)	Platin	Cu	I. $CuSO_4 = Cu + SO_4$ II. Die Gruppe SO_4 kann für sich nicht bestehen, sie bildet mit dem Wasser (H_2O) der Lösung Schwefelsäure (H_2SO_4), wobei Sauerstoff (O) frei wird: $SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$	SO_4 O	Platin
3). Schwefelsaures Natrium (Na_2SO_4)	Platin	Na_2 2(NaOH)	I. Na_2SO_4 wird zerlegt in Natrium (Na) und SO_4: $Na_2SO_4 = Na_2 + SO_4$ IIa. Das Natrium (Na) verbindet sich mit dem Wasser (H_2O) der Lösung zu Natriumhydroxyd (NOH): $Na_2 + 2H_2O = 2(NaOH)$ IIb. Nach Beispiel 2). unter II. wirkt SO_4 auf das Wasser (H_2O) der Lösung: $SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$	SO_4 O	Platin
4). Kupferchlorid ($CuCl_2$)	Platin	Cu Cu_2Cl_2	I. $CuCl_2$ wird zerlegt in Kupfer und Chlor. II. Das ausgeschiedene Kupfer bildet mit dem Kupferchlorid der Lösung Kupferchlorür: $Cu + CuCl_2 = Cu_2Cl_2$	Cl_2	Kohle
5). Zinnchlorür ($SnCl_2$)	Platin	Sn	I. Das Zinnchlorür wird zerlegt in Zinn (Sn) und Chlor (Cl). II. Das Chlor (Cl) verbindet sich mit dem Zinnchlorür der Lösung zu Zinnchlorid ($SnCl_4$): $Cl_2 + SnCl_2 = SnCl_4$	Cl_2 $SnCl_4$	Platin
6). Salpetersaures Silber ($AgNO_3$) in konzentrierter Lösung	Platin	Ag	I. $AgNO_3$ wird zerlegt in Silber (Ag) und die Atomgruppe NO_3. II. Die Atomgruppe NO_3 wirkt auf den Elektrolyt, wobei Salpetersäure und Silbersuboxyd (AgO) entsteht: $NO_3 + AgNO_3 + H_2O = 2HNO_3 + AgO$	NO_3 AgO	Platin
7). Salpetersaures Silber ($AgNO_3$) in verdünnter Lösung	Platin	Ag	I. $AgNO_3 = Ag + NO_3$ II. NO_3 bildet mit Wasser (H_2O) Salpetersäure (HNO_3) und es entweicht Sauerstoff: $2NO_3 + H_2O = 2HNO_3 + O$	NO_3 O	Platin

Elektrolyt	Katode	Kation	Primärer (I) und sekundärer (II) Vorgang	Anion	Anode
8). Schwefelsaures Kupfer ($CuSO_4$)	Kupfer (Cu)	Cu	I. $CuSO_4 = Cu + SO_4$ II. Die Atomgruppe SO_4 verbindet sich mit dem Kupfer der Anode wieder zu schwefelsaurem Kupfer ($CuSO_4$): $Cu + SO_4 = CuSO_4$ Hierbei scheidet sich also an der Katode Kupfer ab, während von der Anode Kupfer in die Lösung übergeht.	SO_4 $CuSO_4$	Kupfer (Cu)
9). Schwefelsaures Zink ($ZnSO_4$)	Kupfer (Cu)	Zn	I. $ZnSO_4 = Zn + SO_4$ II. $SO_4 + Cu = CuSO_4$ [siehe voriges Beispiel II.].	SO_4 $CuSO_4$	Kupfer (Cu)
10). Chlorzink ($ZnCl_2$)	Chlorsilber (AgCl)	Zn Ag	I. $ZnCl_2 = Zn + Cl_2$ IIa. Das Kation Zink setzt sich mit der Katode (AgCl) um, wobei Silber ausgeschieden und Chlorzink ($ZnCl_2$) gebildet wird: $2\,AgCl + Zn = 2\,Ag + ZnCl_2$ IIb. Das Anion Chlor (Cl) verbindet sich mit dem Zink (Zn) der Anode zu Chlorzink: $Cl_2 + Zn = ZnCl_2$	Cl_2 $ZnCl_2$	Zink (Zn)

Frage 300. Wie muss im allgemeinen eine Zersetzungszelle für die Elektrolyse von Salzlösungen eingerichtet sein, und welches sind die bekanntesten diesbezüglichen Zersetzungszellen?

Erkl. 469. Die chemische Untersuchung eines Körpers bildet die Aufgabe der chemischen Analyse. Ueber die Ausführung der chemischen Analyse der in diesem Abschnitt erwähnten Körper findet man ausführliches in dieser Encyklopädie in den Lehrbüchern der chemischen Analyse von *W. Steffen.*

Antwort. Die für die Elektrolyse von Salzlösungen bestimmten Zersetzungszellen müssen, damit die Produkte der Elektrolyse getrennt erhalten und dann chemisch untersucht werden können, im allgemeinen so eingerichtet sein, dass diese Produkte sich nicht mischen können. Die bekanntesten Zersetzungszellen für die Elektrolyse von Salzlösungen sind die folgenden:

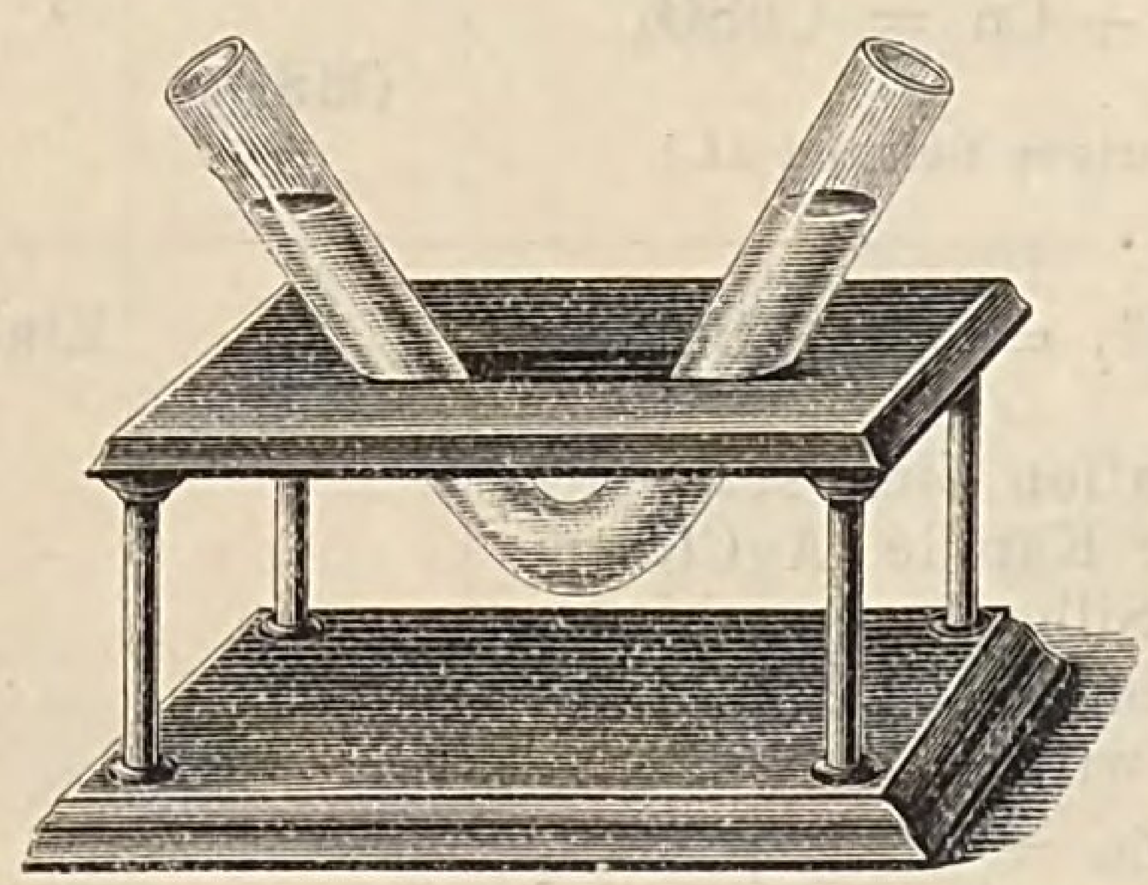
1). Die einfachen Schenkelapparate (siehe Antwort auf Frage 301),

2). die Zersetzungszelle von *Daniell* (siehe Antwort auf Frage 302),

3). die Zersetzungszelle von *Hittorf* (siehe Antwort auf Frage 303),
4). der Schenkelapparat von *Klobuckow* (siehe Antwort auf Frage 304),
5). die Zersetzungszelle von *Wiedemann* (siehe Antwort auf Frage 305).

Frage 301. Worin besteht die Einrichtung der einfachen Schenkelapparate?

Figur 159.

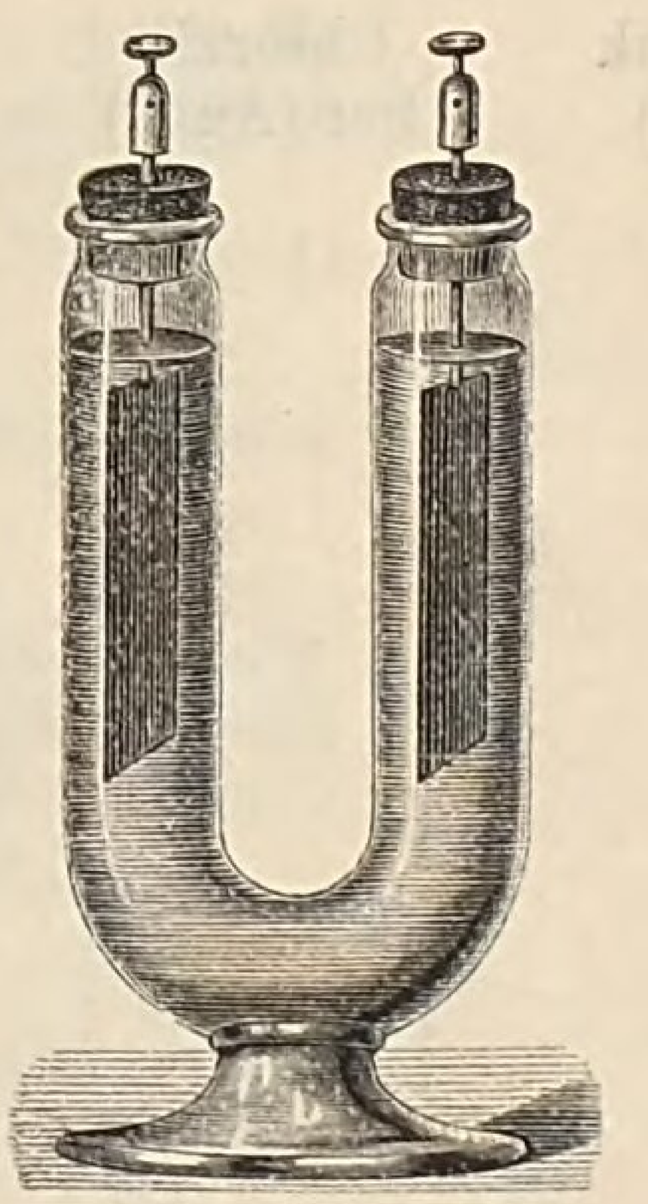


Erkl. 470. Die in nebenstehender Antwort beschriebenen Zellen erlauben nur eine sehr unvollkommene Getrennterhaltung der gelösten Endprodukte, weil dieselben leicht sich vermischen können. Diesen Uebelstand suchte man durch die in den folgenden Antworten beschriebenen Apparate zu vermeiden.

Antwort. Die Einrichtung der einfachen Schenkelapparate besteht

1). aus einem Uförmig gebogenen Glasrohr, siehe Figur 159, in dessen Schenkelöffnungen die Elektroden eingetaucht werden. Dieses Rohr wird in den passenden Ausschnitt eines Holzschemels gelegt.

Figur 160.



2). Aus einem Uförmig gebogenen Standgefäss, siehe Figur 160, in dessen Schenkel die Elektroden an durch Korke festgehaltenen Drähten einhängen. Diese Drähte endigen in Klemmschrauben (siehe Erkl. 470).

Frage 302. Worin besteht die Einrichtung der Zersetzungszelle von *Daniell*?

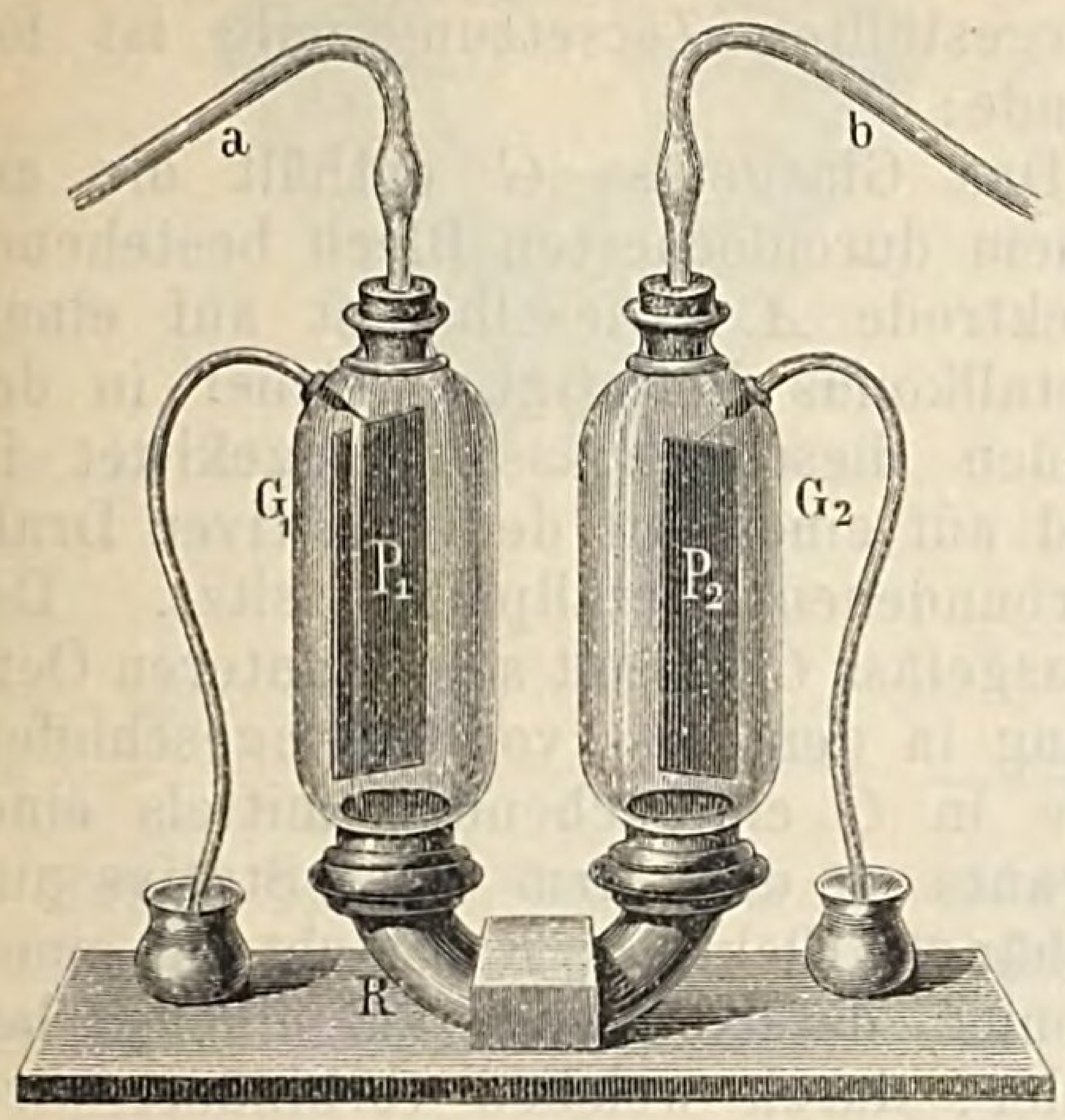
Erkl. 471. Die in nebenstehender Antwort beschriebene Zersetzungszelle ist durch die tierische Blase in drei Abteilungen geteilt, welche, da die Blase porös ist (siehe Antwort auf Frage 130), in leitender Verbindung stehen. Durch die Blase wird jedoch die Vermischung der an den beiden Elektroden ausgeschiedenen,

Antwort. Die Einrichtung der von *Daniell* angegebenen Zersetzungszelle, siehe Figur 161, ist folgende:

Die beiden Glascylinder G_1 und G_2 sind durch ein Uförmiges Glasrohr R, dessen beide Oeffnungen mit tierischer Blase verschlossen sind, miteinander verbunden. In die Hälse von G_1 und G_2 führen durch Korke befestigt die Glas-

in dem Elektrolyt löslichen Produkte einigermassen verhindert.

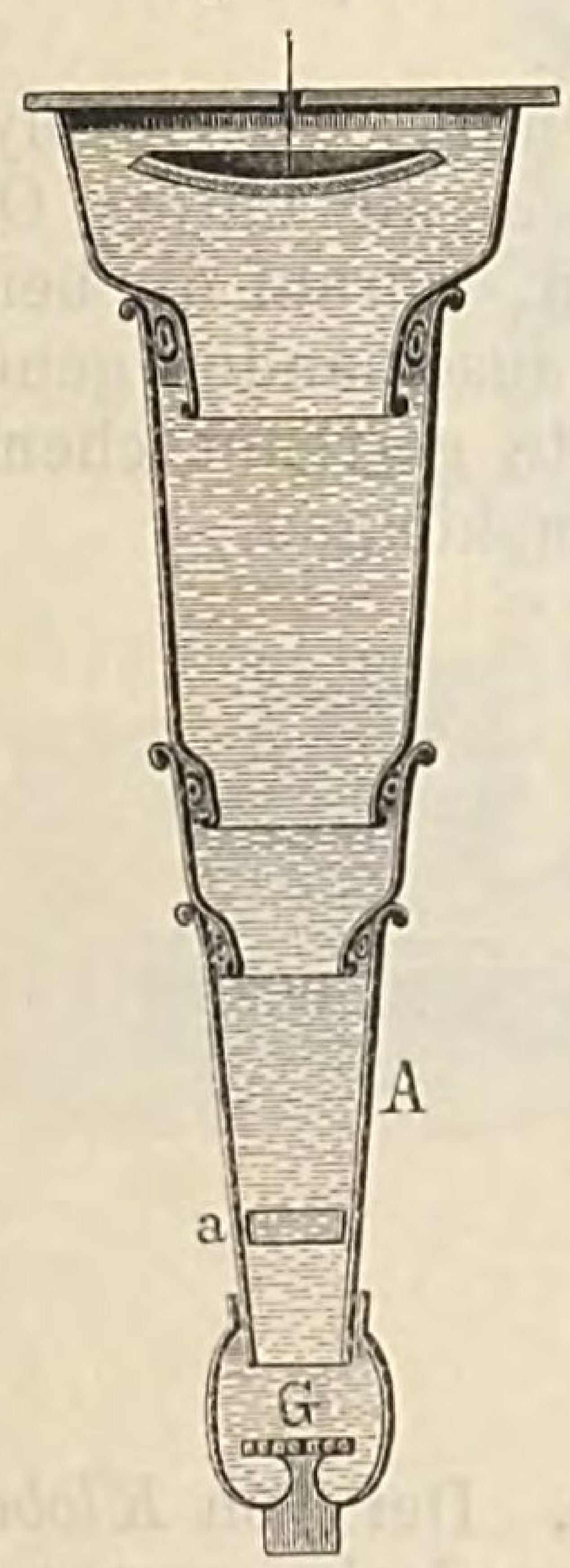
Figur 161.



röhren *a* und *b*. Die Elektroden P_1 und P_2 werden durch Platindrähte, welche in die Quecksilbernäpfchen *c* und *d* tauchen und in die Wand von G_1 bezw. G_2 eingeschmolzen sind, in den Cylindern G_1 und G_2 gehalten (siehe Erkl. 471).

Frage 303. Worin besteht die Einrichtung der Zersetzungszellen von *Hittorf*?

Figur 162.



Erkl. 472. Die von *Hittorf* angegebenen Zersetzungszellen dienen zu dem Zweck, die Flüssigkeit in eine mehr oder weniger grosse Zahl von Schichten zu teilen, deren jede nach

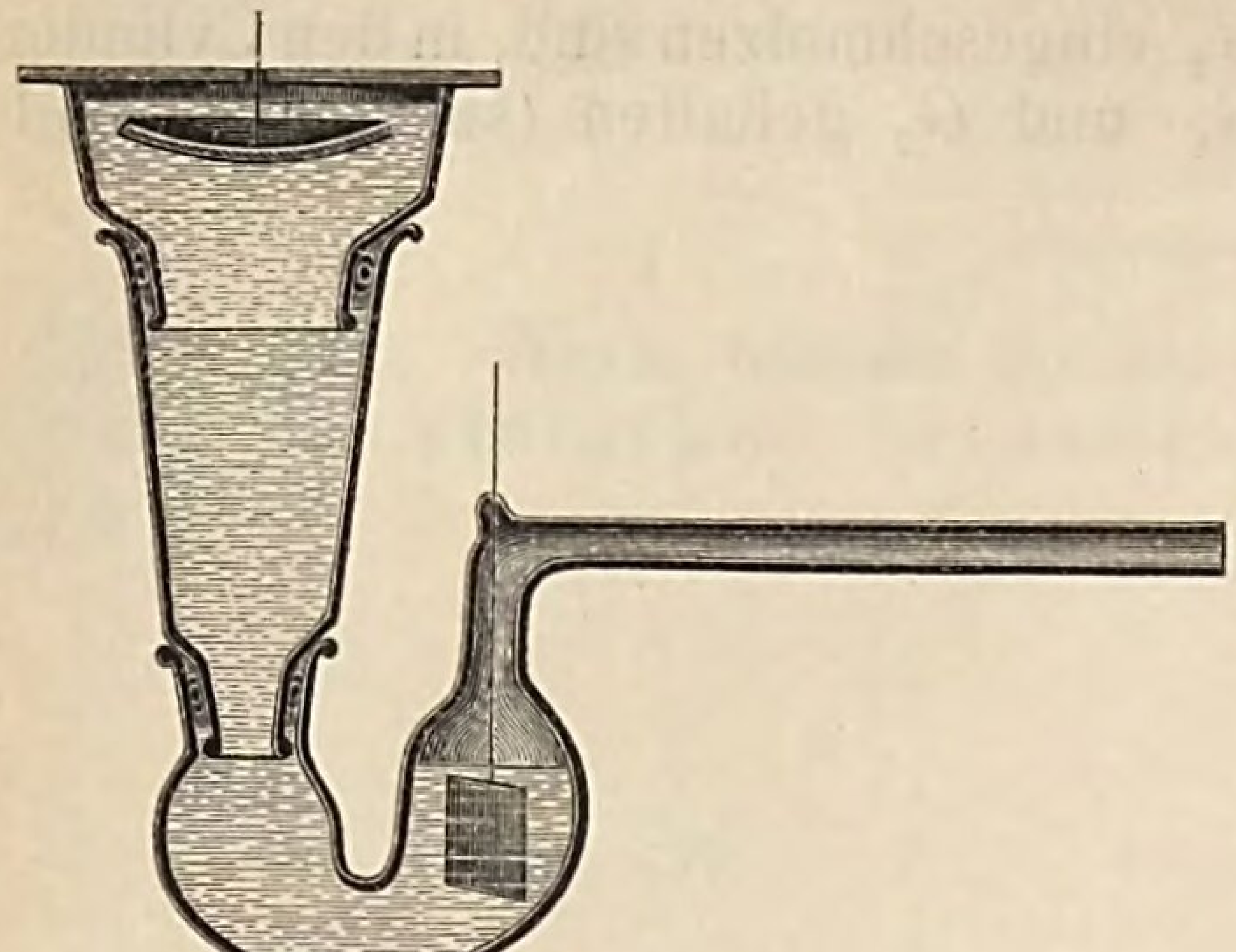
Antwort. Die Einrichtung einiger von *Hittorf* angegebenen Zersetzungszellen besteht in folgendem:

1). Die in Figur 162 im Querschnitt dargestellte Zelle besteht aus einer Anzahl von Glascylindern, deren untere Oeffnungen mit Blase umbunden sind. Diese Cylinder sind ineinander eingepasst, die Schlussstellen sind mit Kautschukringen gedichtet. Der unterste Cylinder *A* ist in das die eine Elektrode enthaltende Gefäss *G* eingeschliffen. *a* ist ein gläserner Ring, welcher ebenfalls mit Blase umbunden ist. Die eine Elektrode ist in eine am Boden von *G* befindliche Oeffnung eingekittet und ist mit dem positiven Poldraht verbunden. In dem obersten Gefäss hängt die andre Elektrode an einem in dem Deckel befestigten Platindraht. Jedes dieser Gefässe wird mit dem betreffenden Elektrolyt gefüllt, alsdann werden sie zusammengesetzt. Nach Beendigung der Elektrolyse werden sie auseinander genommen und deren Inhalt einzeln chemisch analysiert.

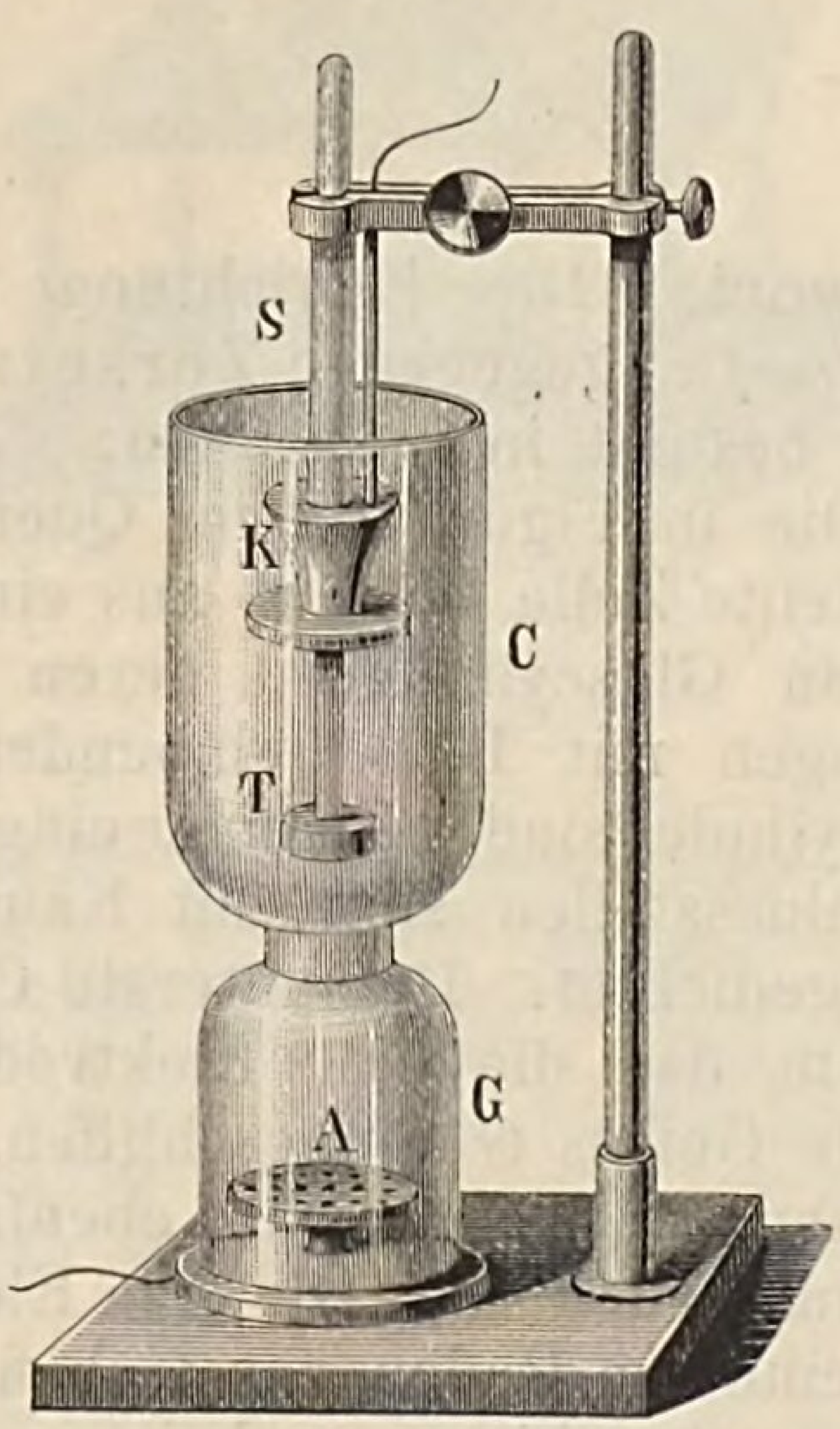
2). Die Einrichtung der in Figur 163 dargestellten Zersetzungszelle ist ähnlich der unter 1). beschriebenen Zelle, das unterste Gefäss trägt jedoch einen

Beendigung der Elektrolyse einzeln chemisch analysiert werden soll.

Figur 163.



Figur 164.



Erkl. 473. Die in nebenstehender Antwort unter 2). angegebene Zersetzungszelle dient für Elektrolysen, bei welchen an der unteren Elektrode Gase frei werden.

Rohransatz, in dessen Wandung der die eine Elektrode tragende Draht eingeschmolzen ist (siehe Erkl. 473).

3). Die Einrichtung der in Figur 164 dargestellten Zersetzungszelle ist folgende:

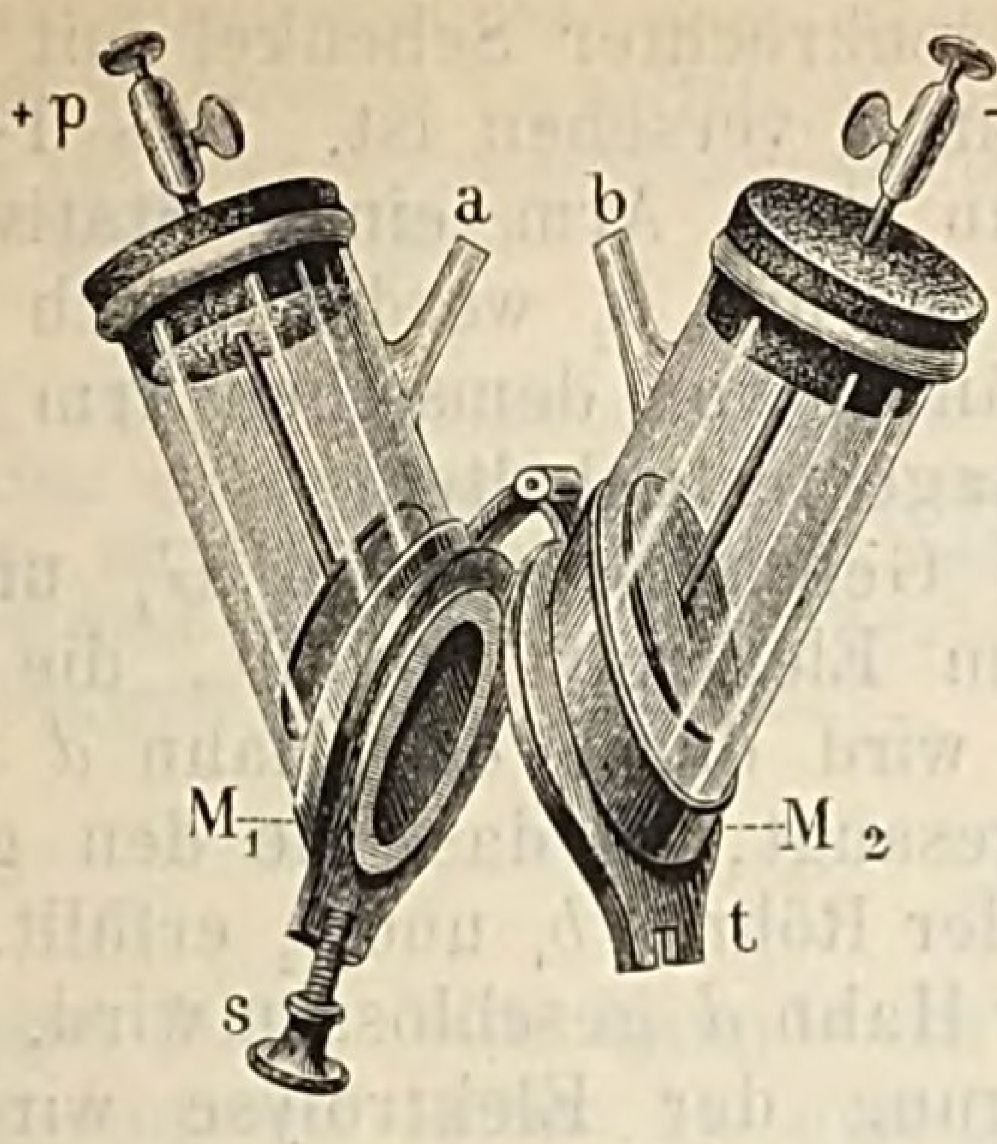
Das Glasgefäss *G* enthält die aus einem durchlöcherten Blech bestehende Elektrode *A*. Dieselbe ist auf einem Metallkonus befestigt, welcher in den Boden dieses Gefässes eingekittet ist und auf einer mit dem positiven Draht verbundenen Metallplatte sitzt. Das Glasgefäss *C* ist mit seiner unteren Oeffnung in den Hals von *G* eingeschliffen. Die in *C* eintauchende, mittels eines Drahts an dem Arm eines Stativs aufgehängte Elektrode *K* besteht aus einem Konus; derselbe sitzt auf einem Glasteller, durch welchen verhindert wird, dass Teilchen, welche sich von der Elektrode etwa ablösen, in den Elektrolyt hinabfallen. Durch die an dem Stativ befestigte Glasröhre *S* geht ein verschiebbarer Glasstab *T*, an dessen unterem Ende ein genau in die untere Oeffnung des Gefässes *C* passender Glasstöpsel befestigt ist.

Nach beendigter Elektrolyse wird der Glasstöpsel in die untere Oeffnung von *C* eingesetzt, worauf die beiden Gefässe *C* und *G* auseinander genommen und deren Inhalte getrennt chemisch analysiert werden können.

Frage 304. Worin besteht die Einrichtung des Schenkelapparats von *Klobuckow*?

Antwort. Der von *Klobuckow* angegebene Schenkelapparat besteht aus zwei kleinen Röhrchen, welche an der einen Oeffnung in rechtem Winkel genau passend aufeinander geschliffen sind. M_1 und M_2 sind an der Röhre festgekittete Ringe aus vernickeltem oder ver-

Figur 165.

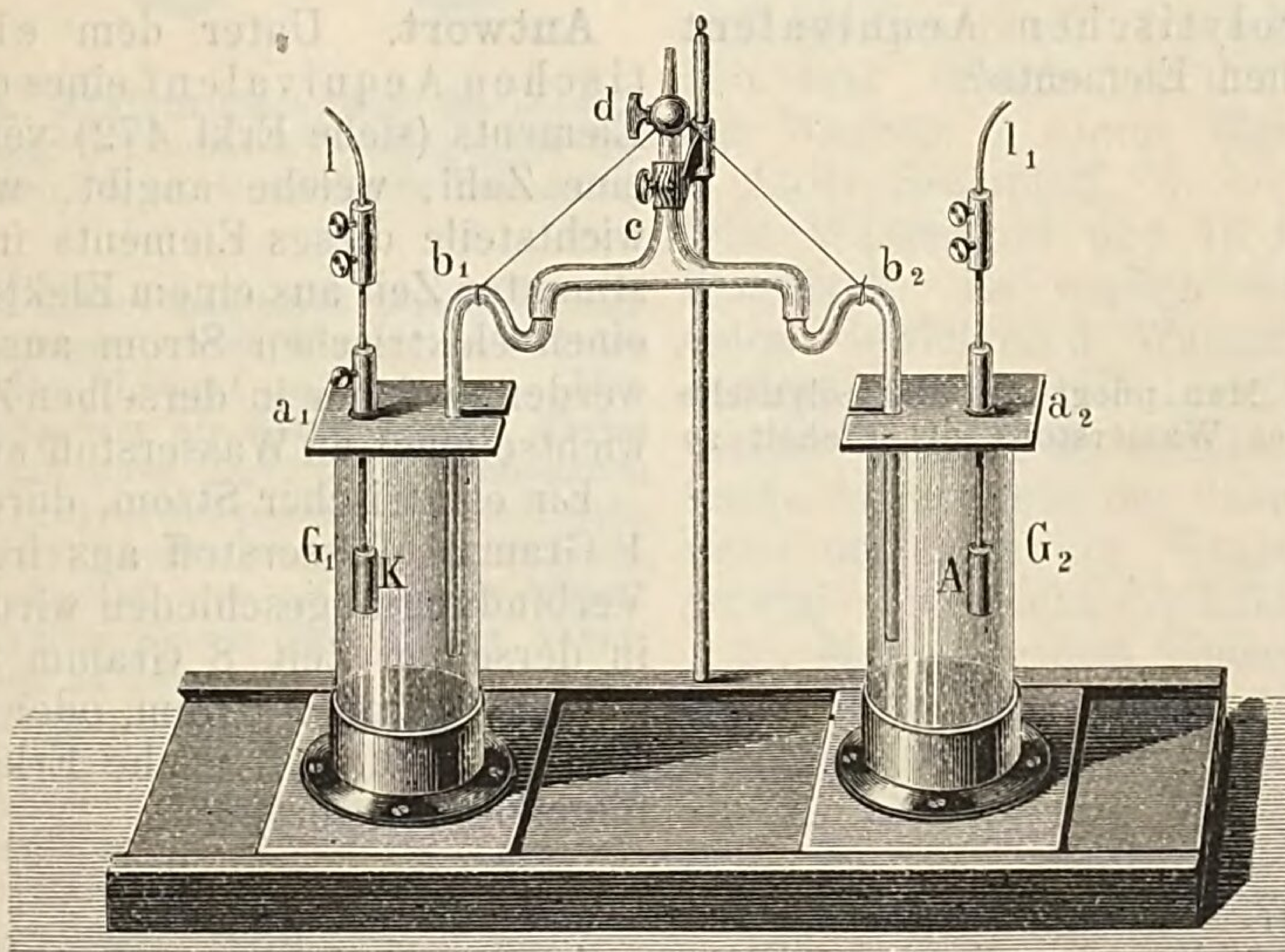


platiniertem Messing, welche durch ein bewegliches Scharnier verbunden sind. Zwischen diese beiden Ringe wird eine Scheibe aus Tierblase gelegt; alsdann werden die beiden Oeffnungen aufeinander gesetzt und durch Einlegen der Schraube S in den Schlitz t und Anziehen derselben ein dichter Schluss erzielt. a und b sind kleine Rohransätze, durch welche die aufsteigenden Gase abgeführt und gesammelt werden. Die Elektroden sind an starken Platindrähten festgenietet, welche in den die Röhrchen verschliessenden Korken verschiebbar befestigt sind.

Frage 305. Worin besteht die Einrichtung der Zersetzungszelle von *Wiedemann*?

Antwort. Die Einrichtung der Zersetzungszelle von *Wiedemann*, siehe Figur 166, besteht aus folgendem:

Figur 166.



Zwei Glasgefässe G_1 und G_2 sind mit Glasplatten a_1 bezw. a_2 bedeckt. Die Glasplatten tragen je eine Messinghülse, in welchen die Elektroden A und K tragenden Platindrähte befestigt sind. b_1 und b_2 sind Sförmig gebogene Glasröhren, welche durch passende Einschnitte in den Glasplatten in die Gefässe G_1 bezw. G_2 eintauchen. Die beiden oberen Enden von b_1 und b_2 sind durch

das Tförmige Rohrstück *c* verbunden, dessen senkrechter Schenkel mit einem Glashahn *d* versehen ist. Das T-Stück *c* ist an dem Arm eines Stativs befestigt; b_1 und b_2 werden durch Kautschukbänder von demselben Arm aus in ihrer Lage festgehalten.

Beim Gebrauch werden G_1 und G_2 mit dem Elektrolyt gefüllt, die Flüssigkeit wird durch den Hahn *d* in die Höhe gesaugt, so dass sie den ganzen Raum der Röhren b_1 und b_2 erfüllt, worauf der Hahn *d* geschlossen wird. Nach Beendigung der Elektrolyse wird der Hahn *d* geöffnet, so dass die Flüssigkeit in b_1 nach G_1, diejenige in b_2 nach G_2 hinabfliesst (siehe Erkl. 474).

Erkl. 474. Bei der in nebenstehender Antwort beschriebenen Wiedemannschen Zelle wird die Mischung der Flüssigkeiten in G_1 und G_2 infolge der Sförmigen Biegung der Röhren b_1 und b_2 völlig verhindert. Die Produkte der Elektrolyse werden somit vollständig getrennt erhalten, was bei den in den Antworten auf die Fragen 301 bis 304 beschriebenen Zellen nicht genau der Fall ist.

G). Ueber die elektrolytischen Gesetze.

Frage 306. Was versteht man unter dem elektrolytischen Aequivalent der chemischen Elemente?

Antwort. Unter dem elektrolytischen Aequivalent eines chemischen Elements (siehe Erkl. 472) versteht man eine Zahl, welche angibt, wieviel Gewichtsteile dieses Elements in einer bestimmten Zeit aus einem Elektrolyt durch einen elektrischen Strom ausgeschieden werden, welcher in derselben Zeit die Gewichtseinheit an Wasserstoff ausscheidet.

Ein elektrischer Strom, durch welchen 1 Gramm Wasserstoff aus irgend einer Verbindung abgeschieden wird, scheidet in derselben Zeit 8 Gramm Sauerstoff, oder 23 Gramm Natrium, oder 39 Gramm Kalium ab u. s. f. (siehe Erkl. 475 und folgende Antwort).

Erkl. 475. Man pflegt das elektrolytische Aequivalent des Wasserstoffs als Einheit zu setzen.

Frage 307. Welche Gesetze wurden in bezug auf die chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms aufgestellt und welchen Namen führen dieselben?

Antwort. In bezug auf die chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms wurden folgende Gesetze aufgestellt:

1). Durch ein und denselben elektrischen Strom werden äquivalente Mengen der Elektrolyte zersetzt.

2). Die Gewichtsmengen der aus einem Elektrolyt durch Elektrolyse an den beiden Elektroden abgeschiedenen Produkte stehen im Verhältnis ihrer elektrolytischen Aequivalente (siehe Erkl. 475).

Erkl. 476. Die in nebenstehender Antwort erwähnten elektrolytischen Aequivalente stehen in einem bestimmten Verhältnis zu den in Erklärung 414 angegebenen Atomgewichten (siehe Antwort auf Frage 308).

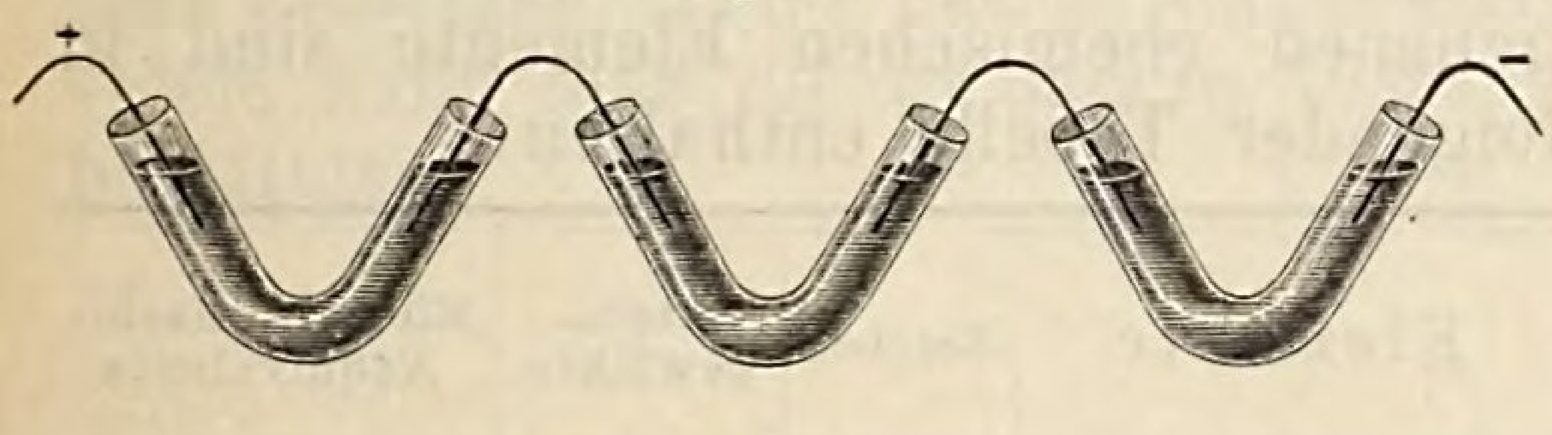
Erkl. 477. Die in nebenstehender Antwort definierten elektrolytischen Gesetze wurden von *Faraday* im Jahre 1833 entdeckt und werden mitunter auch die Gesetze der festen elektrolytischen Aktion genannt.

3). Die Gewichtsmengen eines durch den elektrolytischen Strom zersetzten Elektrolyts sind der Intensität dieses Stromes proportional, d. h. die Gewichtsmengen sind um so grösser, je grösser die Intensität ist.

Diese Gesetze, „elektrolytische Gesetze“ genannt, gelten für alle Stromstärken, auch für die geringsten und grössten (siehe die Erkl. 476 u. 478—480).

Frage 308. Wie kann man die in voriger Antwort unter 1). und 2). definierten elektrolytischen Gesetze experimentell darthun?

Figur 167.



Erkl. 478. Ausführliches über das in Antwort auf Frage 306 unter 3). angegebene Gesetz findet man im mathematischen Teil dieses Lehrbuchs.

Erkl. 479. Leitet man einen sehr schwachen Strom durch angesäuertes Wasser, so ist keine Zersetzung des Wassers zu bemerken. Man glaubte daher, dass die Leiter zweiter Klasse neben dem mit ihrer Zersetzung verbundenen (elektrolytischen) Leitungsvermögen auch noch ein metallisches Leitungsvermögen besässen, d. h. dass ein Teil des elektrischen Stroms die Leiter zweiter Klasse durchfliessen könne, ohne dieselben zu zersetzen.

Diese Erscheinung ist jedoch durch folgende Umstände begründet:

1). Das Wasser vermag Sauerstoff und Wasserstoff zu absorbieren (siehe Antw. auf Frage 282). Ist die Stromstärke gering, so wird nur eine geringe Menge dieser beiden Gase beim Durchleiten des Stroms durch angesäuertes Wasser entwickelt, und diese geringe Menge wird von dem Wasser vollständig absorbiert, so dass die stattfindende Wasserzersetzung nicht wahrgenommen werden kann.

2). Enthält das angesäuerte Wasser Luft, so verbindet sich der ausgeschiedene Wasserstoff mit dem Sauerstoff der Luft zu Wasser. Auch hierdurch wird die Gasentwicklung beim Durchleiten eines schwachen Stroms durch Wasser vermindert (siehe Erkl. 476).

Erkl. 480. Wenn es richtig wäre, dass ein Teil des elektrischen Stroms einen Leiter zweiter Klasse durchfliessen könnte, ohne ihn

Antwort. Um die in voriger Antwort unter 1). und 2). definierten elektrolytischen Gesetze experimentell darzuthun, kann man verfahren wie folgt:

1). Man stelle den in Antwort auf Frage 280 beschriebenen Versuch an. Man erhält hierbei, wie dort erwähnt, ein doppelt so grosses Volumen Wasserstoff als Sauerstoff. Nach Erkl. 416 erhält man sonach bei der Elektrolyse des Wassers 2 Atome Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff, d. i. 2 Gewichtsteile Wasserstoff und 16 Gewichtsteile Sauerstoff. Es werden sonach für je einen Gewichtsteil Wasserstoff 8. Gewichtsteile Sauerstoff abgeschieden. Nach voriger Antwort ist somit das elektrolytische Aequivalent des Sauerstoffs $= 8$, wenn dasjenige des Wasserstoffs $= 1$ gesetzt wird (siehe die Erkl. 477—480).

2). Man fülle drei Uförmig gebogene Glasröhren, siehe Figur 167, die eine mit Chlorblei ($PbCl_2$), die zweite mit Jodblei (PbJ_2), die dritte mit Chlorsilber ($AgCl$), erhitze diese Körper zum Schmelzen und schalte dieselben hintereinander in den Stromkreis einer galvanischen Säule. Nachdem der Strom eine Zeit lang den Inhalt der Röhren durchflossen hat, unterbreche man denselben, lasse die Röhren erkalten und zerbreche sie alsdann an der Biegung. Wird nun der Inhalt der Röhrenschenkel chemisch analysiert, so zeigt sich, dass die Gewichtsmenge der abgeschiedenen Produkte den Atomgewichten nach den oben angegebenen chemischen Formeln entspricht, und zwar erhält man

zu zersetzen, so wäre das elektrolytische Gesetz [siehe Antwort auf Frage 306 unter 3).] nicht streng richtig; die Angaben, welche in einem Voltameter erhalten werden [siehe Antwort auf Frage 154 unter 1).], würden daher mit den durch ein Galvanometer [siehe Antwort auf Frage 154 unter 2).] erhaltenen Angaben der Stromstärke nicht übereinstimmen, sondern kleiner sein.

Erkl. 481. Verschiedene Forscher glaubten, die in vorstehender Erklärung erwähnte metallische Leitungsfähigkeit der Leiter zweiter Klasse durch Experimente bewiesen zu haben. Jedoch ist durch genaue Untersuchungen bewiesen, dass diese metallische Leitungsfähigkeit selbst für die geringsten messbaren Ströme nicht existiert, dass somit das elektrolytische Gesetz für alle messbaren Stromstärken gilt.

bei der Elektrolyse von	Elektrolytische Aequivalente Gewichtsteile Anion	Gewichtsteile Kation
Chlorblei $PbCl_2$	35,5 Chlor	103,5 Blei
Jodblei $PbCl_2$	127,0 Jod	103,5 Blei
Chlorsilber AgCl	35,5 Chlor	108,0 Silber

Vergleicht man die in dieser Tabelle angegebenen elektrolytischen Aequivalente mit den in Erkl. 414 angegebenen Atomgewichten, so findet man, dass dieselben in bezug auf Chlor und Silber mit den Atomgewichten übereinstimmen, dass jedoch das elektrolytische Aequivalent des Bleis nur halb so gross ist, als dessen Atomgewicht (siehe Erkl. 480).

Frage 309. Welches sind die elektrolytischen Aequivalente der bekanntesten chemischen Elemente?

Antwort. Die elektrolytischen Aequivalente der in Erkl. 414 angegebenen chemischen Elemente sind in folgender Tabelle enthalten:

Elemente	Zeichen	Atomgewichte	Elektrolytische Aequivalente
Aluminium . .	Al	27,4	9,1
Antimon . . .	Sb	122,0	40,7 u. 24,4
Arsen	As	75,0	25,0 u. 15,0
Baryum . . .	Ba	137,0	68,5
Blei	Pb	207,0	103,5
Bor	B	11,0	3,3
Brom	Br	80,0	80,0
Calcium . . .	Ca	40,0	20,0
Chlor	Cl	35,5	35,5
Chrom . . .	Cr	52,5	26,2 u. 17,5
Eisen	Fe	56,0	28,0 u. 18,7
Fluor	Fl	19,0	19,0
Gold	Au	197,0	65,6
Jod	J	127,0	127,0
Kalium . . .	K	39,0	39,0
Kobalt . . .	Co	59,0	29,5 u. 19,7
Kohlenstoff . .	C	12,0	3
Kupfer . . .	Cu	63,4	31,7
Magnesium . .	Mg	24,0	12,0
Mangan . . .	Mn	55,0	27,5 u. 18,3
Natrium . . .	Na	23,0	23,0
Nickel . . .	Ni	59,0	29,5 u. 19,7
Phosphor . .	P	31,0	10,3 u. 6,2
Platin	Pt	197,4	49,3
Quecksilber . .	Hg	200,0	200,0 u. 100,0
Sauerstoff . .	O	16,0	8,0
Schwefel . . .	S	32,0	16,0
Silber	Ag	108,0	108,0
Silicium . . .	Si	28,0	7,0
Stickstoff . .	N	14,0	4,7
Strontium . .	Sr	87.5	43,7
Wasserstoff . .	H	1,0	1,0
Wismut . . .	Bi	210,0	105,0 u. 70,0
Zink	Zn	65,2	32,6
Zinn	Sn	118,0	59,0 u. 29,5

Erkl. 482. Die in nebenstehender Antwort gegebene Tabelle enthält zur Vergleichung auch die Atomgewichte der betreffenden chemischen Elemente.

Erkl. 483. Die elektrolytischen Aequivalente einiger chemischen Elemente sind nach nebenstehender Tabelle gleich deren Atomgewichten.

Bei einigen andern Elementen dagegen ist das elektrolytische Aequivalent gleich $^1/_2$ bezw. $^1/_3$ Atomgewicht.

Mangan, Kobalt, Eisen, Nickel, Quecksilber u. s. f. besitzen je zwei verschiedene elektrolytische Aequivalente, je nach der Art der Verbindung, aus welcher sie elektrolytisch ausgeschieden werden. Ausführliches darüber findet man in dieser Encyklopädie in dem Lehrbuch der Experimental-Chemie von *W. Steffen.*

Erkl. 484. Ueber die Anwendung des elektrolytischen Gesetzes zur Messung der Stromstärke siehe den mathematischen Teil dieses Lehrbuchs. Die zur Messung der Stromstärke dienenden Voltameter findet man beschrieben in den Antworten auf die Fragen 159 bis 166.

H). Ueber die Wanderung der Jonen.

Frage 310. Was versteht man unter der Wanderung der Jonen?

Antwort. Wird eine Flüssigkeit der Elektrolyse unterworfen, so scheiden sich die Jonen an den Elektroden ab. Man nimmt daher an, dass die Jonen den Elektrolyt durchwandern, und zwar wandert das positiv elektrische Jon (das Kation) nach der negativen Elektrode (der Katode), das negative Jon (das Anion) nach der positiven Elektrode (der Anode). Diesen Vorgang innerhalb des Elektrolyts nennt man die Wanderung der Jonen.

Frage 311. Welche Veränderung erleidet eine der Elektrolyse unterworfene Flüssigkeit, und durch welche Beispiele kann man die gemachte Aussage bestätigen?

Antwort. Wird eine Flüssigkeit der Elektrolyse unterworfen, so erleidet sie infolge der Wanderung der Jonen eine Aenderung in der Konzentration in der Nähe der beiden Elektroden. Dies kann man durch folgende Beispiele bestätigen:

1. Beispiel. Unterwirft man verdünnte Schwefelsäure der Elektrolyse, so scheidet sich an der Anode Sauerstoff, an der Katode Wasserstoff ab und die Säure wird in der Umgebung der Anode allmählich konzentrierter, in der Umgebung der Katode allmählich verdünnter.

2. Beispiel. Unterwirft man Kalilösung der Elektrolyse, so scheidet sich an der Anode Sauerstoff, an der Katode Wasserstoff ab und die Lösung wird an der Katode konzentrierter, an der Anode verdünnter.

3. Beispiel. Unterwirft man eine Lösung von schwefelsaurem Kupfer zwischen Kupferelektroden der Elektrolyse, so scheidet sich an der Katode Kupfer, an der Anode Schwefelsäure ab [siehe Erkl. 468 Beispiel 8).]. Die Schwefelsäure löst nun das Kupfer der Anode auf und bildet mit demselben wieder schwefelsaures Kupfer. Die Lösung selbst wird dabei an der Anode konzentrierter, an der Katode verdünnter (siehe die Erkl. 485 und 486).

Erkl. 485. Bei dem in nebenstehender Antwort im 3. Beispiel erwähnten Experiment kann man die Aenderung der Konzentration während der Elektrolyse deutlich wahrnehmen. Lösungen von Kupfervitriol haben blaue Farbe, und zwar ist das Blau um so dunkler, je konzentrierter die Lösung ist; es ist um so heller, je mehr die Lösung verdünnt ist. Der erwähnte Vorgang gibt sich also durch Veränderung der Farbe zu erkennen, die Lösung wird an der Anode dunkelblau, an der Katode hellblau.

Erkl. 486. Ueber die in nebenstehender Antwort erwähnte Konzentrationsänderung der Flüssigkeiten ist noch folgendes zu bemerken: Würde das Kation Kupfer mit derselben Geschwindigkeit nach der Katode wandern, mit welcher das Anion SO_4 nach der Anode wandert, so müsste die Konzentration in allen Schichten der Lösung des schwefelsauren Kupfers während der Elektrolyse die gleiche bleiben. Dies ist jedoch nach nebenstehender Antwort nicht der Fall. Man nimmt daher an, dass die Jonen mit verschiedener Geschwindigkeit nach den Elektroden wandern.

l). Ueber die mechanische Ueberführung von Elektrolyten durch den elektrischen Strom.

(Elektrische Endosmose).

Frage 312. Was versteht man unter der sog. elektrischen Endosmose?

Antwort. Wird eine Flüssigkeit in einer durch ein Diaphragma (siehe Antw. auf Frage 130) in zwei Teile geteilten Zersetzungszelle der Elektrolyse unterworfen, so findet eine mechanische Ueberführung der Flüssigkeit in der Richtung von der einen nach der andern Elektrode statt. Diesen Vorgang pflegt man die elektrische Endosmose zu benennen (siehe die Erkl. 487 und 488).

Erkl. 487. Unter Endosmose (Hineintreten) und Exosmose (Heraustreten) versteht man im allgemeinen in der Physik den folgenden Vorgang:

Werden zwei heterogene Flüssigkeiten durch ein Diaphragma (siehe Antwort auf Frage 130) getrennt, so dringen ungleiche Mengen dieser beiden Flüssigkeiten von den beiden Seiten durch das Diaphragma, so dass das Volumen auf der einen Seite des Diaphragmas zunimmt, auf der andern Seite abnimmt (siehe Erkl. 488).

Erkl. 488. Nach voriger Erklärung wäre die in nebenstehender Antwort erwähnte gebräuchliche Bezeichnung „elektrische Endosmose" für den betreffenden Vorgang durch die passendere „mechanische Ueberführung von Elektrolyten durch den elektrischen Strom" zu ersetzen.

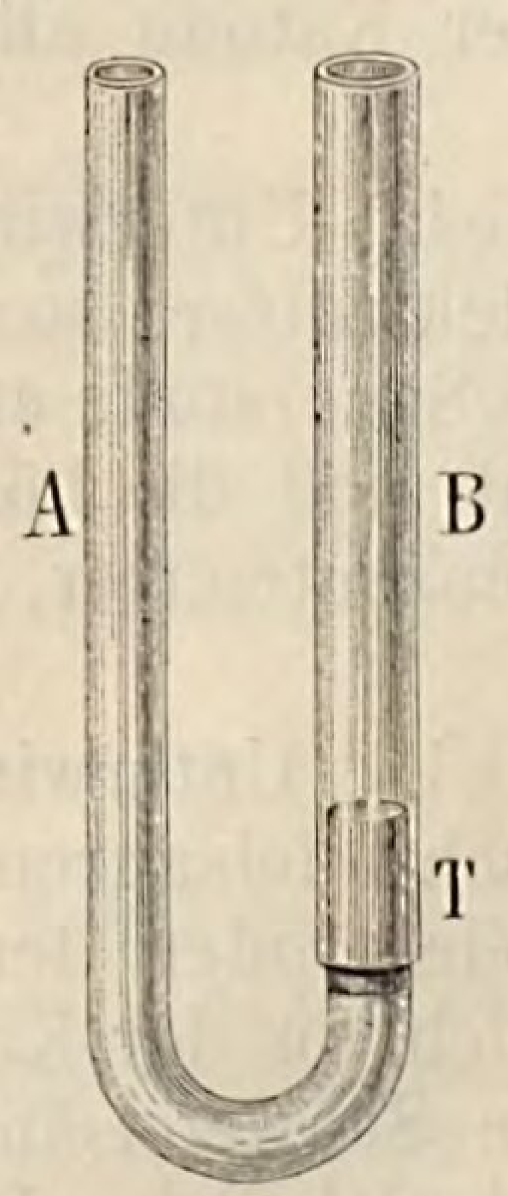
Frage 313. Wie kann man die Erscheinung der elektrischen Endosmose experimentell zeigen?

Antwort. Um die Erscheinung der elektrischen Endosmose experimentell darzuthun, kann man verfahren wie folgt:

Man setze auf die Oeffnung des kurzen Schenkels des gebogenen Glasrohres *A*, siehe Figur 168, eine Thonzelle *T* [siehe Antwort auf Frage 130 unter 1)], welche möglichst genau den gleichen Durchmesser hat wie die Röhre *A*, kitte den Boden der Thonzelle auf den Rand des Glasrohres, schiebe ein möglichst genau anschliessendes Glasrohr *B* über die Thonzelle und kitte den unteren Rand derselben an der Thonzelle sorgfältig an (siehe Erkl. 489).

Füllt man beide Röhren bis zu genau gleicher Höhe mit reinem Wasser und taucht in das Wasser der beiden Schenkel je eine mit einer Säule von etwa 6—10 Bunsen-Elementen verbundene Elektrode ein, so steigt das Wasser in demjenigen Rohre, in welches die Katode eintaucht und sinkt in entsprechendem Masse in dem die Anode enthaltenden Rohre.

Figur 168.



Erkl. 489. Soll der in nebenstehender Antwort beschriebene Apparat zur Aufnahme wässeriger Lösungen dienen, so wird derselbe mit Siegellack gekittet; soll er zur Aufnahme alkoholischer Lösungen dienen, so verwendet man Hausenblase als Kitt (siehe Erkl. 490).

Erkl. 490. Hausenblase ist ein Fischleim, hergestellt aus der getrockneten Schwimmhaut des Hausen, eines im mittelländischen, schwarzen und kaspischen Meere lebenden, der Gruppe der Störe angehörigen Fisches.

Füllt man die Röhren mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupfer (Kupfervitriol), so findet beim Durchgang des elektrischen Stroms ebenfalls ein Steigen der Lösung an der Katode, ein Sinken an der Anode statt.

Wendet man wasserhaltigen Alkohol (Weingeist) an, so findet dieser Vorgang in noch stärkerem Masse statt.

Frage 314. Welches sind die Hauptresultate der Beobachtungen über die elektrische Endosmose?

Erkl. 491. Setzt man reinem Wasser ein wenig eines Salzes zu, so wird die elektrische Endosmose bedeutend geringer.

Erkl. 492. Die Gesetze, welche in bezug auf die elektrische Endosmose aufgestellt wurden, und die Beschreibung der Apparate, mittels deren diese Gesetze experimentell bewiesen werden, findet man im mathematischen Teil dieses Lehrbuchs.

Antwort. Die Hauptresultate der Beobachtungen über die elektrische Endosmose sind die folgenden:

1). Die elektrische Endosmose findet nur bei Elektrolyten statt;

2). die elektrische Endosmose ist um so stärker, je schlechter der Elektrolyt den Strom leitet (siehe Erkl. 491);

3). die elektrische Endosmose findet meist in der Richtung nach der Katode hin statt (siehe Erkl. 492).

K). Ueber die Theorie der Elektrolyse.

(Hypothesen.)

Anmerkung. Dem Lernenden wird empfohlen, der in folgender Antwort unter 3). erwähnten Hypothese von *Clausius* besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Frage 315. Welches sind die bekanntesten Hypothesen zur Erklärung der Elektrolyse?

Erkl. 493. Wenn die in nebenstehender Antwort unter 1). erwähnte Hypothese von *Grotthus* richtig wäre, so müsste die Kraft, mit welcher die Anode das ihr benachbarte Chlor-Atom anzieht, grösser sein als die Kraft, mit welcher dieses Chlor-Atom an dem mit ihm zu einem Molekul verbundenen Wasserstoff-Atom festgehalten wird. Es müsste sonach eine bestimmte Stromstärke erforderlich sein, um diese sogenannte „molekulare Anziehungskraft“ zu überwinden und nur, wenn die Stromstärke grösser wäre, als hierzu erforderlich ist, könnte die Elektrolyse stattfinden.

Es wurden zahlreiche Untersuchungen angestellt, welche scheinbar ergaben, dass sehr schwache Ströme keine elektrolytischen Wirkungen hervorbringen können. Jedoch wurde nachgewiesen, dass die Resultate dieser Untersuchungen irrige waren (siehe die Erkl. 479 bis 481), da die elektrolytischen Gesetze nach allen bis heute bekannten zuverlässigen Unter-

Antwort. Zur Erklärung der Elektrolyse wurden zahlreiche Hypothesen aufgestellt. Die bekanntesten derselben sind die folgenden:

1). Die Grotthussche Hypothese. *Grotthus* nimmt an, dass jedes einzelne Molekul (siehe Erkl. 407) eines Elektrolyts die beiden elektrischen Fluida in gleicher Menge gebunden enthält (siehe Erkl. 44). Die Molekule werden als aus zwei Teilen bestehend betrachtet, von welchen der eine (das Kation) das negativ elektrische Fluidum, der andre (das Anion) das positiv elektrische Fluidum enthält. Wird nun ein elektrischer Strom durch den Elektrolyt geleitet, so zieht die negative Elektrode (die Katode) den positiv elektrischen Bestandteil an, die positive Elektrode (die Anode) den negativen Bestandteil. So wäre z. B. die

suchungen für alle Stromstärken, auch für die geringsten, giltig sind, so steht die Hypothese von *Grotthus* mit den elektrolytischen Gesetzen im Widerspruch.

Erkl. 494. Die in nebenstehender Antwort unter 2). erwähnte elektrochemische Reihe von *Berzelius* ist mit Weglassung der selteneren chemischen Elemente die folgende:

+
Kalium
Natrium
Lithium
Baryum
Strontium
Calcium
Magnesium
Aluminium
Mangan
Zink
Eisen
Nickel
Kobalt
Cadmium
Blei
Zinn
Wismut
Kupfer
Silber
Quecksilber
Palladium
Platin
Iridium
Gold
Wasserstoff
Silicium
Antimon
Kohlenstoff
Bor
Chrom
Arsen
Phosphor
Jod
Brom
Chlor
Fluor
Stickstoff
Selen
Schwefel
Sauerstoff
—

Diese Reihe ist analog der Spannungsreihe (siehe Antwort auf Frage 12) folgendermassen zu verstehen:

Tritt ein Atom eines chemischen Elements mit einem Atom eines zweiten Elements zu einem Molekul zusammen, so wird jenes erste Atom positiv elektrisch, wenn das Atom des zweiten Elements in dieser Reihe ihm nachsteht; jenes Atom wird hingegen negativ elektrisch, wenn das zweite Element ihm in dieser Reihe vorangeht (siehe Erkl. 495).

Elektrolyse des Chlorwasserstoffs (HCl) folgendermassen zu erklären:

Man denke sich z. B. eine Anzahl von Chlorwasserstoff-Molekulen zwischen der positiven und negativen Elektrode gelagert:

$$\begin{array}{ccccccc} & + & + & + & + & + & \\ - & \mathrm{H} & \mathrm{H} & \mathrm{H} & \mathrm{H} & \mathrm{H} & + \\ \text{Katode} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \text{Anode} \\ & - & - & - & - & - & \end{array}$$

Die Wasserstoff-Atome sind positiv, die Chlor-Atome negativ elektrisch. Sobald ein elektrischer Strom diese Reihe von Molekulen durchfliesst, tritt an den Elektroden freie positive bezw. freie negative Elektricität auf; die positiv elektrische Anode zieht das ihr unmittelbar benachbarte Atom Chlor an, die negativ elektrische Katode das ihr unmittelbar benachbarte Atom Wasserstoff:

$$\begin{array}{ccccccccc} & & & + & + & + & + & & \\ - & + & & \mathrm{H} & \mathrm{H} & \mathrm{H} & \mathrm{H} & & + \\ \text{Katode} & \mathrm{H} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & & \mathrm{Cl} & \text{Anode} \\ & & - & - & - & - & & - & \end{array}$$

Das nunmehr freie Chlor-Atom zieht das Wasserstoff-Atom des ihm benachbarten Molekuls an, ebenso zieht das freie Wasserstoff-Atom das Chlor-Atom des ihm benachbarten Molekuls an u. s. f.:

$$\begin{array}{cccccccc} & & + & + & + & + & & \\ - & + & \mathrm{H} & \mathrm{H} & \mathrm{H} & \mathrm{H} & - & + \\ \text{Katode} & \mathrm{H} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \text{Anode} \\ & & - & - & - & - & & \end{array}$$

Die Chlor-Atome verschieben sich also in der Richtung nach der Anode, die Wasserstoff-Atome verschieben sich in der Richtung der Katode.

In gleicher Weise wird ein zweites Wasserstoff-Atom von der Katode und ein zweites Chlor-Atom von der Anode angezogen:

$$\begin{array}{ccccccc} & & + & + & + & & \\ - & ++ & \mathrm{H} & \mathrm{H} & \mathrm{H} & -\,- & + \\ \text{Katode} & \mathrm{HH} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{ClCl} & \text{Anode} \\ & & - & - & - & & \end{array}$$

ferner ein drittes Wasserstoff- bezw. Chlor-Atom:

$$\begin{array}{cccccc} & & + & + & & \\ - & +++ & \mathrm{H} & \mathrm{H} & -\,-\,- & + \\ \text{Katode} & \mathrm{HHH} & \mathrm{Cl} & \mathrm{Cl} & \mathrm{ClClCl} & \text{Anode} \\ & & - & - & & \end{array}$$

u. s. f. (siehe Erkl. 493).

Diese Hypothese erklärt somit die Thatsache, dass die elektrolytische Zersetzung stets nur unmittelbar an den Elektroden stattfindet, dass der ganze

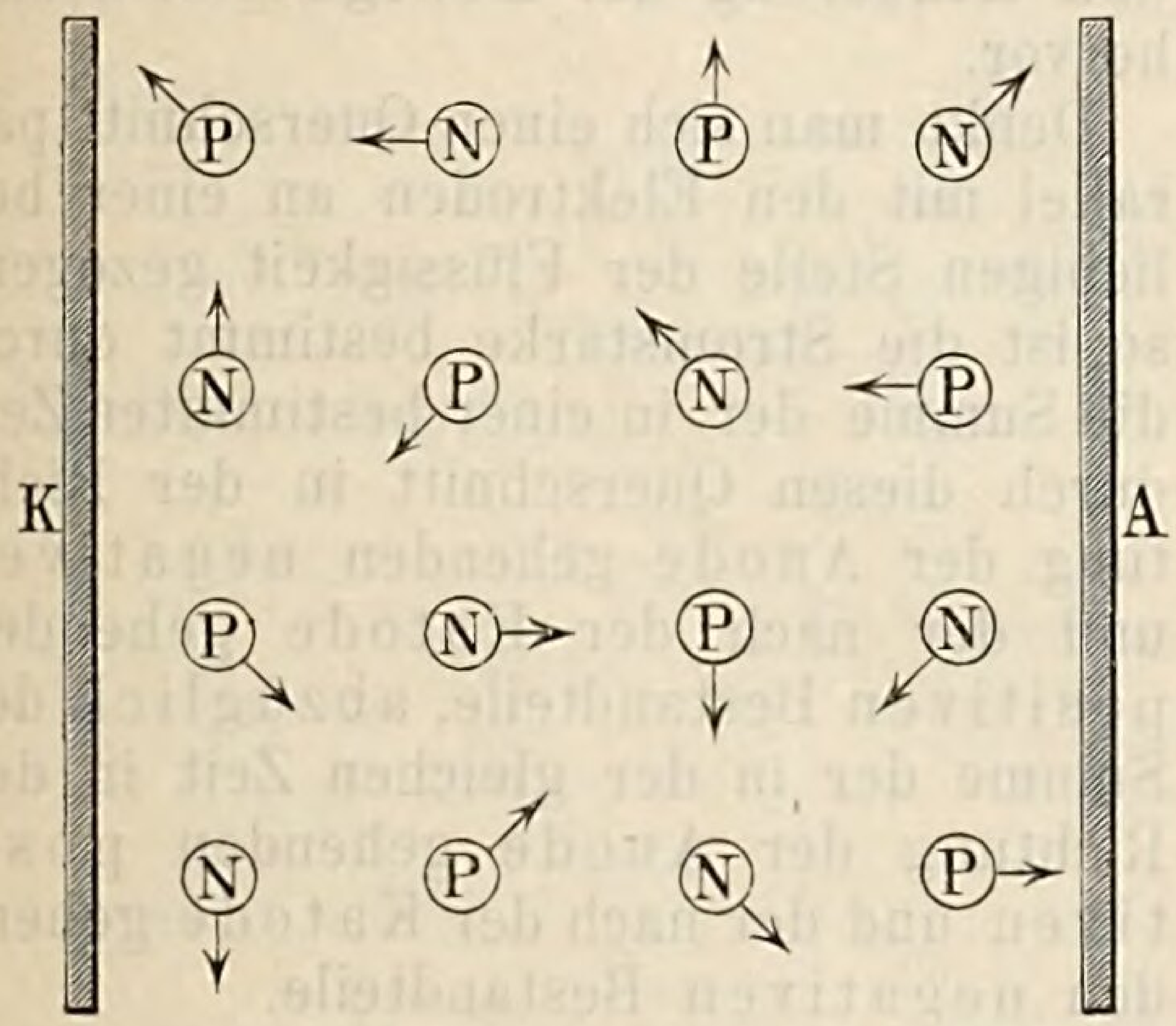
übrige Teil des Elektrolyts jedoch nicht durch den elektrischen Strom zersetzt wird (siehe Antwort auf Frage 274).

2). Die Hypothese von Berzelius. Nach der Annahme von *Berzelius*, welche durch *Fechner* ergänzt wurde, enthalten alle Atome eine gewisse Menge Elektricität. Bei der Verbindung der Atome zu Molekulen wird Elektricität erregt. Die Molekule hat man sich aus zwei Bestandteilen zusammengesetzt zu denken, von welchen der eine (das Kation) bei der Verbindung positiv, der andre (das Anion) negativ elektrisch wird; die frei gewordene positive Elektricität des Anions verbindet sich mit der frei gewordenen negativen Elektricität des Kations. Je nachdem ein Atom eines bestimmten Elements mit einem Atom eines oder des andern Elements zu einem Molekul verbunden ist, kann es das Anion oder das Kation sein. *Berzelius* ordnete sämtliche damals bekannten Elemente in eine elektrochemische Reihe, in welcher die chemischen Elemente analog der Spannungsreihe (siehe Antwort auf Frage 12) geordnet sind (siehe Erkl. 494).

Erkl. 495. Die in voriger Erklärung angegebene elektrochemische Reihe von *Berzelius* war von der grössten Bedeutung für die Entwicklung der Chemie. Heute ist jedoch die in nebenstehender Antwort kurz erwähnte elektrolytische Hypothese von *Berzelius* aufgegeben worden.

3). Die Hypothese von Clausius. Nach der Annahme von *Clausius* sind die Bestandteile der Molekule in fortwährender Bewegung, die Molekule tauschen ihre Bestandteile gegeneinander aus und diese Bestandteile bewegen sich regellos in allen Richtungen. In jedem messbaren Raum sind gleich viel positiv und negativ elektrische Bestandteile enthalten, die Geschwindigkeiten und die Richtungen der Bewegung sind gleichmässig verteilt. Diese Ansicht wird durch nebenstehende Figur 169 veranschaulicht. Die P stellen die positiv, die N die negativ elektrischen Bestandteile der Molekule dar, die Pfeile deuten die augenblicklich geltende Richtung der Bewegung an; K stellt die Katode und A die Anode vor, zwischen welchen sich die Bestandteile der Molekule bewegen.

Figur 169.



Durchfliesst nun ein elektrischer Strom den Elektrolyt, so erhalten alle positiv elektrischen Bestandteile der Molekule einen Zuwachs an Geschwindigkeit in der Richtung nach der Katode, die negativ elektrischen Bestandteile einen Zuwachs

an Geschwindigkeit in der Richtung nach der Anode. Die unmittelbar an der Anode (der positiven Elektrode) befindlichen negativen Teilchen finden infolgedessen nicht mehr die entsprechende Anzahl positiver Teilchen und werden daher von der Katode angezogen, d. h. ausgeschieden. Ebenso werden die unmittelbar an der Katode (der negativen Elektrode) befindlichen positiven Teilchen ausgeschieden. In den nicht unmittelbar die Elektroden berührenden Schichten des Elektrolyts findet keine Zersetzung statt, weil die Teilchen hier in gleicher Anzahl vorhanden bleiben und somit die oben erwähnte Wiedervereinigung der beiden entgegengesetzt elektrischen Bestandteile zu Molekulen genau wie vor dem Durchgang des elektrischen Stroms stattfindet.

Schon der schwächste elektrische Strom bringt eine seiner Intensität entsprechende Beschleunigung der Bewegung und Aenderung der Bewegungsrichtung hervor.

Denkt man sich einen Querschnitt parallel mit den Elektroden an einer beliebigen Stelle der Flüssigkeit gezogen, so ist die Stromstärke bestimmt durch die Summe der in einer bestimmten Zeit durch diesen Querschnitt in der Richtung der Anode gehenden negativen und der nach der Katode gehenden positiven Bestandteile, abzüglich der Summe der in der gleichen Zeit in der Richtung der Anode gehenden positiven und der nach der Katode gehenden negativen Bestandteile.

Die Vergrösserung des Leitungsvermögens der Flüssigkeiten durch Erhöhung der Temperatur [siehe Antw. auf Frage 213 unter 2).] wird erklärt durch die bei der Temperaturerhöhung wachsende Geschwindigkeit der Molekularbestandteile.

4). Die Hypothese von Wiedemann. *Wiedemann* nimmt an, dass beim Durchgang eines elektrischen Stroms durch einen Elektrolyt auf der Oberfläche dieses Elektrolyts sich die freien Elektricitäten ebenso verteilen, wie auf der Oberfläche metallischer Leiter. Die beiden Jonen des Elektrolyts enthalten

gleiche und entgegengesetzte Elektricitätsmengen, auf beide Jonen des Molekuls wirkt daher eine elektrische Spannung (siehe Antwort auf Frage 5), welche den Jonen eine bestimmte Geschwindigkeit erteilt. Diese Geschwindigkeit ist abhängig von der Masse des betreffenden Jons und von dem Reibungswiderstand, welchen die Jonen auf dem durchwanderten Weg zu überwinden haben. Auch die noch unzersetzten Molekule des Elektrolyts und des Lösungsmittels (z. B. des Wassers der Lösung) werden beim Kontakt mit den entgegengesetzten Elektricitäten geladen. Sie werden somit von einander abgestossen und bewegen sich nach entgegengesetzten Richtungen. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung ist wiederum abhängig von dem Reibungswiderstand. Durch diese Auffassung wird die Wanderung der Jonen (siehe Antwort auf Frage 310) und die verschiedene Geschwindigkeit, mit welcher die Jonen wandern, erklärt.

Die Erscheinung der sog. elektrischen Endosmose (siehe Antwort auf Frage 312) erklärt *Wiedemann* folgendermassen:

In engen Röhren (und in den feinen Poren eines Diaphragmas) ladet sich die ganze Flüssigkeit beim Durchgang des elektrischen Stroms bei ihrem Kontakt mit der Wand des Rohres entgegengesetzt wie jene Röhrenwand. Sie wird durch die abstossende Wirkung der so verteilten beiden entgegengesetzten Elektricitäten in der einen Längsrichtung der Röhre fortgeführt.

16). Ueber das Wesen der Kontaktelektricität.

(Hypothesen.)

Frage 316. Auf welche Weise suchte man das Wesen der Kontaktelektricität zu erklären?

Antwort. Zur Erklärung des Wesens der Kontaktelektricität wurden zahlreiche Theorien aufgestellt. Die bekanntesten derselben sind die folgenden:

1). Die Kontakttheorie von Volta. Nach *Volta* ist die Berührung heterogener Körper die alleinige Ursache der

Erregung von Elektricität. Diese Ansicht suchte *Volta* durch die Fundamentalversuche zu beweisen (siehe Antwort auf Frage 9 und Erkl. 496).

2). Die chemische Theorie von de la Rive. Nach *de la Rive* wird nur dann beim Kontakt heterogener Körper Elektricität erregt, wenn bei diesem Kontakt ein chemischer Prozess stattfindet. Den Voltaschen Fundamentalversuch erklärt *de la Rive* in folgender Weise:

Die Oberfläche aller Metallstücke ist mit einer dünnen Schicht von Gasen oder Feuchtigkeit bedeckt. Durch diese gegenseitige Berührung von Metall und Feuchtigkeit wird Elektricität erregt; die erregte Elektricität kann man jedoch nicht wahrnehmen, weil die beiden entgegengesetzten Elektricitäten (siehe Erkl. 23) an der Berührungsfläche unmittelbar nebeneinander gebunden sind.

Bei dem in Antwort auf Frage 9 unter 1). angegebenen Versuch wäre demnach die Zinkplatte bei Berührung mit dem anhaftenden Gase und der Feuchtigkeit negativ elektrisch, das Gas und die Feuchtigkeit positiv elektrisch. Die Kupferplatte wäre dagegen durch die Berührung mit dem an ihr haftenden Gase bezw. der Feuchtigkeit weit schwächer negativ elektrisch als die Zinkplatte. Wird nun die Zinkplatte auf die Kupferplatte gesetzt, so berühren sich beide Platten nur in verhältnismässig wenigen Punkten, weil eine absolut glatte Fläche selbst durch das sorgfältigste Schleifen und Polieren nicht hergestellt werden kann. Die beiden Platten sind demnach durch die erwähnte Schicht der Gase und Feuchtigkeit bis auf wenige Berührungspunkte getrennt. Nur an diesen Berührungspunkten kann freie Elektricität von einer Platte zur andern übertreten; da nun die Zinkplatte stärker negativ elektrisch ist als die Kupferplatte, so geht an diesen Berührungspunkten ein Teil der freien negativen Elektricität der Zinkplatte auf die Kupferplatte über. Werden dann die beiden Platten getrennt, so besitzt die Kupferplatte nachweisbare freie negative Elektricität, während die Schicht von

Erkl. 496. Die in nebenstehender Antwort unter 1). erwähnte Voltasche Kontakttheorie steht im Widerspruch mit dem Prinzip von der Erhaltung der Energie (siehe auch Erkl. 83). Genaue Untersuchungen haben auch ergeben, dass durch die gegenseitige Berührung zweier Metallstücke nur eine sehr kleine Spannungsdifferenz hervorgerufen werden kann (siehe Antwort auf Frage 16).

Gas und Feuchtigkeit, welche die Zinkplatte umgibt, nachweisbare freie positive Elektricität besitzt (siehe Erkl. 497).

3). Die Theorie von Exner. Nach *Exner* ist das Auftreten der elektromotorischen Kraft nicht durch die Berührung heterogener Körper, sondern durch den bei dieser Berührung stattfindenden chemischen Verbindungsvorgang bedingt. Die sog. Kontaktelektricität ist danach lediglich eine Wirkung chemischer Energie (siehe Erkl. 498). Zur Erklärung des Voltaschen Fundamentalversuchs nimmt *Exner* an, dass alle oxydierbaren Metalle (siehe Erkl. 426) sich an der Luft sehr rasch mit einer dünnen, nicht wahrnehmbaren Oxydschicht überziehen. Bei dieser Oxydation wird Elektricität erregt, das Metall wird negativ, das Oxyd positiv elektrisch. Wird das Metall zur Erde abgeleitet, so fliesst von demselben die freie negative Influenzelektricität zur Erde ab (siehe Erkl. 27), die freie positive Elektricität des Metalls bleibt jedoch an der Berührungsfläche des Oxyds gebunden, weil das Oxyd ein Isolator ist und weil somit die auf demselben erregte negative Elektricität nicht abfliessen kann. Nähert man die Metallplatte einer zweiten Platte aus anderem Metall, so wird auf der zweiten Platte durch Influenz Elektricität erregt.

Nach Exners Theorie ist somit zur Elektricitätserregung auf heterogenen Metallen nur eine Annäherung, nicht aber eine Berührung erforderlich (siehe Erkl. 499).

Erkl. 497. Nach der in nebenstehender Antwort erörterten Theorie von *de la Rive* könnte bei der gegenseitigen Berührung heterogener Metalle im luftleeren Raum keine Elektricität erregt werden. *De la Rive* glaubte dies auch durch Versuche bestätigt zu haben; andere Forscher dagegen erhielten entgegengesetzte Resultate.

Erkl. 498. Unter der chemischen Energie versteht man die Kraft, durch welche eine chemische Verbindung hervorgebracht wird. Die chemische Verwandtschaft (siehe Erkl. 428) ist das Mass dieser Kraft, welche daher wohl auch chemische Verwandtschaftskraft genannt wird.

Erkl. 499. Die in nebenstehender Antwort unter 3). kurz erwähnte Erklärung des Voltaschen Fundamentalversuchs wird durch eine Reihe von Versuchen, welche *Exner* anstellte, unterstützt.

Anmerkung. In vorstehender Antwort sind nur einige der zahlreichen Hypothesen über das Wesen der Kontaktelektricität kurz angeführt. Alle diese Hypothesen stützen sich auf experimentell erwiesene Thatsachen, keine derselben vermag jedoch alle Wirkungen der Kontaktelektricität mit unzweifelhafter Sicherheit zu erklären. Dieselben können sonach nur den Wert von unvollkommen begründeten Vermutungen über das heute noch geheimnisvolle Wesen der Kontaktelektricität für sich in Anspruch nehmen.

oxyd und Feuchtigkeit, welche die Zinkplatte zeigt, nachgewiesen (als positive Elektricität besitzt (siehe Erkl. 491).

3) Die Theorie von Exner. Nach Exner ist das Auftreten der elektromotorischen Kraft nicht durch die Berührung heterogener Körper, sondern durch den bei dieser Berührung stattfindenden chemischen Verbindungsvorgang bedingt. Die sog. Kontaktelektricität ist danach lediglich eine Wirkung chemischer Energie (siehe Erkl. 495). Zur Erklärung des Voltaschen Fundamentalversuchs nimmt Exner an, dass alle oxydierbaren Metalle (siehe Erkl. 120) sich an der Luft sehr rasch mit einer dünnen, nicht wahrnehmbaren Oxydschicht überziehen. Bei dieser Oxydation wird Elektricität erregt, das Metall wird negativ, das Oxyd positiv elektrisch. Wird das Metall zur Erde abgeleitet, so fliesst von demselben die freie negative Influenzelektricität zur Erde ab (siehe Erkl. 27), die freie positive Elektricität des Metalls bleibt jedoch an der Berührungsfläche des Oxyds gebunden, weil das Oxyd ein Isolator ist und weil sogar die auf demselben erregte negative Elektricität nicht abfliessen kann. Nähert man die Metallplatte einer zweiten Platte aus anderem Metall, so wird auf der zweiten Platte durch Influenz Elektricität erregt.

Nach Exners Theorie ist sonach zur Elektricitätserregung auf ungleichen Metallen nur eine Annäherung, nicht aber eine Berührung erforderlich (siehe Erkl. 496).

Erkl. 494. Nach der in nebenstehender Antwort erörterten Theorie von de la Rive konnte bei den gegenwärtigen Bedingungen ungleicher Metalle im luftleeren Raume keine Elektricität erregt werden. De la Rive glaubte dies auch durch Versuche bewiesen zu haben, andere Forscher dagegen erhielten entgegengesetzte Resultate.

Erkl. 495. Unter der chemischen Energie versteht man diejenige Kraft, durch welche chemische Verbindungen hervorgebracht werden. Die chemische Verwandtschaft (siehe Erkl. 12) ist das Mass dieser Kraft, welche daher auch chemische Verwandtschafts-Kraft genannt wird.

Erkl. 496. Die in nebenstehender Antwort unter 3) kurz erwähnte Erklärung des Voltaschen Fundamentalversuchs wird durch eine Reihe von Versuchen, welche Exner anstellte, unterstützt.

Anmerkung. In vorstehender Antwort sind nur einige der zahlreichen Hypothesen über das Wesen der Kontaktelektricität kurz angeführt. Alle diese Hypothesen stützen sich auf experimentell erwiesene Thatsachen, keine derselben vermag jedoch alle Wirkungen der Kontaktelektricität mit unzweifelhafter Sicherheit zu erklären. Die Ansichten können demnach nur den Wert von unvollkommen begründeten Vermutungen über das heute noch geheimnisvolle Wesen der Kontaktelektricität für sich in Anspruch nehmen.

II. Teil.

(Mathematischer Teil.)

1). Ueber die elektromotorische Kraft.

Frage 317. Was versteht man unter der mittleren elektrischen Dichte?

Erkl. 500. Die Elektricität verteilt sich nur bei kugelförmigen Körpern gleichmässig auf deren Oberfläche. Bei Körpern von anderer Gestalt ist die Verteilung eine ungleichmässige. Ausführliches darüber findet man in dieser Encyklopädie in *Kleyer*s Lehrbuch der Reibungselektricität.

Erkl. 501. Nach Antwort auf Frage 15 versteht man unter der elektrischen Spannung das Bestreben eines elektrisierten Körpers, seinen neutralen Zustand wieder anzunehmen. Die Grösse der elektrischen Spannung ist abhängig von der elektrischen Dichte, und zwar ist die elektrische Spannung der elektrischen Dichte direkt proportional; denn je grösser die elektrische Dichte an irgend einer Stelle eines Körpers ist, um so grösser ist auch die elektrische Spannung an dieser Stelle.

Erkl. 502. Die mittlere elektrische Dichte wird häufig kurzweg „elektrische Dichte" genannt.

Antwort. Unter der mittleren elektrischen Dichte versteht man die auf der Flächeneinheit der Oberfläche eines Körpers vorhandene Elektricitätsmenge (siehe die Erkl. 500—502).

Bezeichnet F die Oberfläche eines Körpers, M die auf diesem Körper vorhandene Elektricitätsmenge, D die auf irgend einer Flächeneinheit vorhandene mittlere elektrische Dichte, so besteht hiernach die Relation:

$$D = \frac{M}{F}$$

Frage 318. Was versteht man unter der elektrischen Dichtedifferenz eines Rheomotors?

Erkl. 503. Nach Erklärung 501 und nebenstehender Antwort ist die elektrische Spannungsdifferenz (siehe Antwort auf Frage 16) der Dichtedifferenz direkt proportional.

Antwort. Unter der elektrischen Dichtedifferenz eines Rheomotors versteht man, unter der Voraussetzung, dass der Stromkreis des Rheomotors geöffnet ist, und unter der Voraussetzung, dass die beiden Pole (Polplatten) gleiche Gestalt und Grösse haben (siehe Erkl. 503), die Differenz zwischen der elektrischen Dichte der positiven Elektricität am positiven Pol und der elektrischen Dichte der negativen Elektricität am negativen Pol.

Bezeichnet man mit $+D$ die Dichte der Elektricität am positiven Pol, mit $-D$ die Dichte am negativen Pol eines galvanischen Elements, und die Dichtedifferenz mit d, so besteht die Relation:

$$d = +D - (-D)$$

oder:

$$\text{a)}. \; . \; . \; . \; . \; d = 2D$$

Frage 319. Welches Gesetz wurde in bezug auf die Dichtedifferenz eines Rheomotors aufgestellt und durch welche Experimente kann man dieses Gesetz bestätigen?

Antwort. In bezug auf die Dichtedifferenz eines Rheomotors wurde folgendes Gesetz aufgestellt:

„Die Dichtedifferenz eines Rheomotors (Elements bezw. Säule) mit geöffnetem Stromkreis ist abhängig von der Grösse der elektromotorischen Kraft; sie hat bei jedem Element (bei jeder Säule) einen ganz bestimmten Wert, welcher sich auch dann nicht verändert, wenn dem Element (der Säule) von aussen freie positive oder freie negative Elektricität zugeführt oder entzogen wird.“

Man kann dieses Gesetz auch kurz ausdrücken wie folgt:

„Die Dichtedifferenz eines jeden Rheomotors ist konstant.“

Die Richtigkeit dieses Gesetzes kann man mittels folgender Experimente bestätigen:

1). Angenommen, ein Element habe an beiden Polen die (mittleren) elektrischen Dichten $+D$ bezw. $-D$, so ist nach voriger Antwort die Dichtedifferenz:

$$d = 2D$$

Teilt man nun diesem Element durch Berührung mit einem positiv elektrischen Körper so viel positive Elektricität mit, dass die (mittlere) elektrische Dichte am positiven Pol $= +2D$ wird und prüft man alsdann den elektrischen Zustand des negativen Pols mittels des Elektroskops (siehe Erkl. 19), so wird man finden, dass der negative Pol keine freie Elektricität mehr aufweist, dass somit die elektrische Dichte desselben ebenfalls um $+D$ zugenommen hat und nunmehr den Wert besitzt:

$$-D + D = 0$$

Die Dichtedifferenz ist somit:

$$d = 2D - 0 = 2D$$

2). Vermehrt man in gleicher Weise die elektrische Dichte am positiven Pol um $4D$, so erhält der negative Pol eine elektrische Dichte von:

$$-D + 3D = +2D$$

Die Dichtedifferenz ist somit:

$$d = 4D - 2D = 2D$$

3). Bringt man den positiven Pol mit der Erde in leitende Verbindung, so fliesst die freie positive Elektricität zur Erde ab, die Dichte am positiven Pol wird also = 0 (d. i. der positive Pol wird unelektrisch) und die Dichte am negativen Pol wird:

$$-D - D = -2D$$

Die Dichtedifferenz ist somit:

$$d = 0 - (-2D) = 2D$$

Bei allen den drei angeführten Experimenten erhält man sonach dieselbe Dichtedifferenz:

$$d = 2D$$

Frage 320. Welche Beziehung besteht nach voriger Antwort zwischen der elektromotorischen Kraft und der Dichtedifferenz?

Antwort. Nach voriger Antwort wird durch die elektromotorische Kraft auf einem Rheomotor eine bestimmte Dichtedifferenz hervorgebracht. Zwischen beiden besteht die Beziehung, dass die Grösse der elektromotorischen Kraft eines Rheomotors der Dichtedifferenz proportional ist.

Bezeichnet man also die elektromotorische Kraft eines Elements mit E, eines andern Elements mit E_1, die bezüglichen Dichtedifferenzen der beiden Elemente mit d und d_1, so besteht hiernach die Proportion:

$$E : E_1 = d : d_1$$

Frage 321. Welche Relationen bestehen zwischen der elektromotorischen Kraft und der Anzahl der zu einer Säule verbundenen galvanischen Elemente?

Antwort. Zwischen der elektromotorischen Kraft und der Anzahl der zu einer Säule verbundenen galvanischen Elemente bestehen folgende Relationen:

1). Die elektromotorische Kraft einer Säule ist proportional der Anzahl der zur Säule verbundenen Elemente, vorausgesetzt, dass diese Elemente von gleicher Art sind.

Bezeichnet man die elektromotorische Kraft eines Elements mit e, die Anzahl der zur Säule verbundenen Elemente mit n, die elektromotorische Kraft der Säule mit E, so besteht hiernach die Proportion:

a). $E : e = n : 1$

oder:

b). $E = e . n$

Bezeichnet man ferner die bezüglichen Grössen einer zweiten aus Elementen von einer andern Art errichteten Säule mit E_1, e_1, n_1, so besteht für diese zweite Säule die Proportion:

c). $E_1 : e_1 = n_1 : 1$

oder:

d). $E_1 = e_1 . n_1$

2). Durch Division der Proportionen a). und c). erhält man:

e). . . . $\frac{E}{E_1} : \frac{e}{e_1} = \frac{n}{n_1} : 1$

oder:

f). . . . $E : E_1 = e n : e_1 n_1$

3). Sind die Elemente der unter 1). und 2). erwähnten beiden Säulen von gleicher Art, so ist in Proportion f). $e = e_1$, es wird in diesem Fall sonach:

g). $E : E_1 = n : n_1$

d. h.: Die elektromotorischen Kräfte E und E_1 zweier aus gleichartigen Elementen bestehenden Säulen verhalten sich wie die Anzahlen n und n_1 der Elemente der beiden Säulen.

4). Sind die Elemente der einen Säule von anderer Art als die Elemente der zweiten Säule, und ist die Anzahl n der Elemente der einen Säule gleich der Anzahl n_1 der Elemente der zweiten Säule, so geht Proportion f). über in:

h). $E : E_1 = e : e_1$

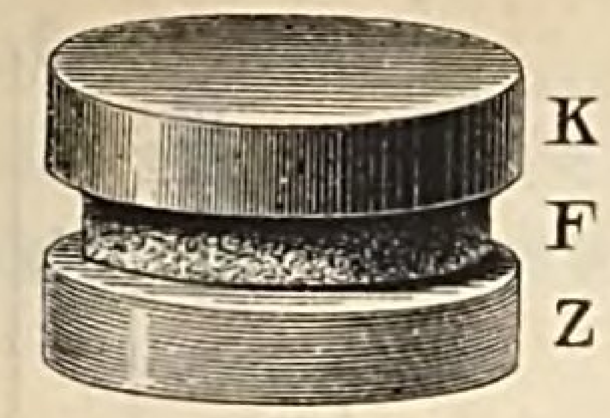
d. h.: Bei gleicher Elementenzahl verhalten sich die elektromotorischen Kräfte E und E_1 zweier Säulen wie die elektromotorischen Kräfte e und e_1 der diese Säulen bildenden Elemente.

Frage 322. Was versteht man unter der elektromotorischen Kraft eines galvanischen Elements?

Die gemachte Aussage ist an einem Beispiel zu erläutern und das Beispiel graphisch darzustellen.

Antwort. Aus Antwort auf Frage 29 geht hervor, dass in einem galvanischen Element an jeder heterogenen Berührungsstelle, z. B. bei einem Voltaschen Element zwischen Zink und Flüssigkeit und ebenso zwischen Flüssigkeit und

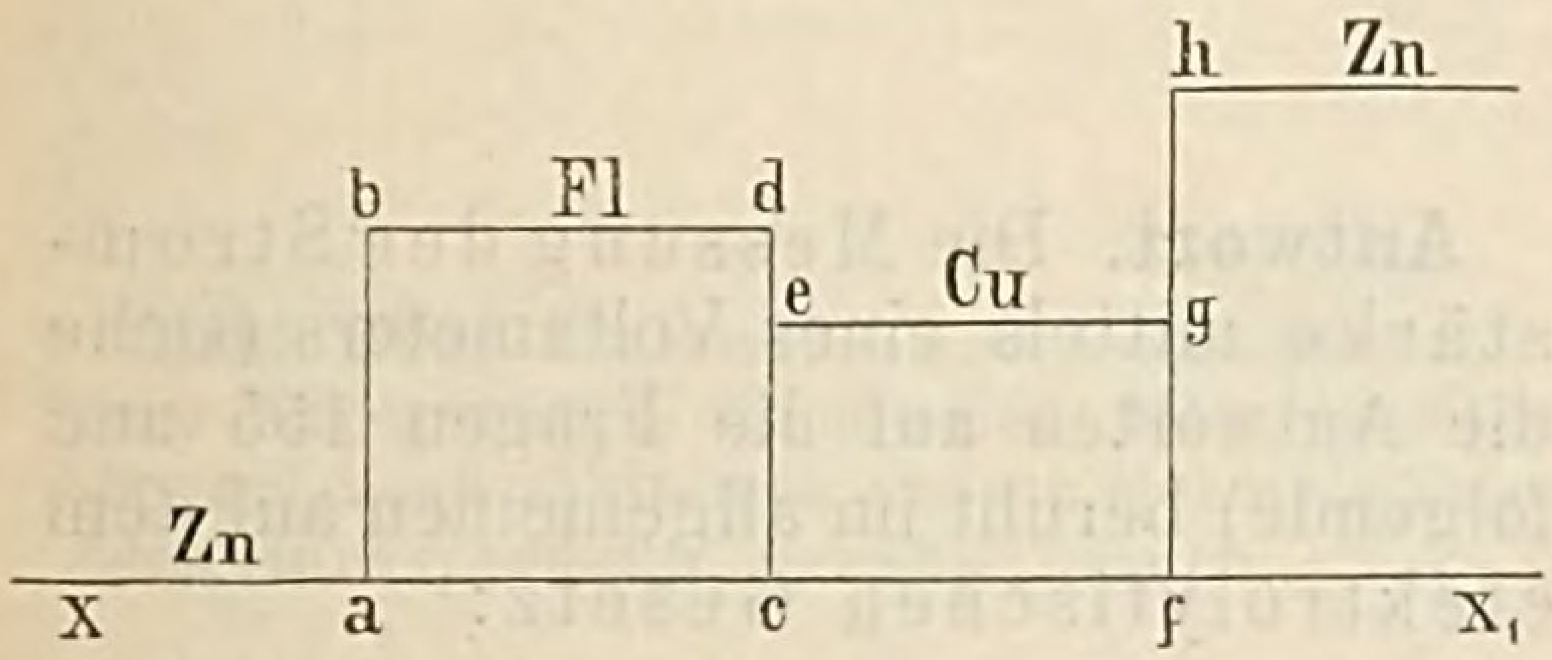
Figur 170.



Erkl. 504. Zu nebenstehender Antwort ist folgendes zu bemerken:

Man bezeichnet die elektromotorische Kraft, welche zwischen zwei Körpern bei deren gegenseitiger Berührung auftritt, dadurch, dass man die chemischen Zeichen (siehe Erkl. 413) der beiden Körper nebeneinander setzt und durch einen senkrechten Strich trennt. Die elektromotorische Kraft zwischen Kupfer und Zink wird demnach bezeichnet durch Cu | Zn. Die Flüssigkeit eines galvanischen Elements kann man durch Fl bezeichnen. Die elektromotorischen Kräfte zwischen Zink und Flüssigkeit und zwischen Flüssigkeit und Kupfer werden sonach mit Zn | Fl und Fl | Cu bezeichnet.

Figur 171.



Erkl. 505. Die in nebenstehender Antwort erläuterte graphische Darstellung der Grösse der elektromotorischen Kraft gibt ein übersichtlicheres Bild als die Zahlenrechnung.

Erkl. 506. Das in nebenstehender Antwort erwähnte galvanische Element besitzt schein-

Kupfer, ferner zwischen Kupfer und Zink eine elektromotorische Kraft auftritt.

Die Summe dieser einzelnen elektromotorischen Kräfte nennt man die elektromotorische Kraft des galvanischen Elements.

Es sei z. B. ein Voltasches Zink-Kupfer-Element (siehe Figur 170 und Antwort auf Frage 29) gegeben, dessen Wasser mit Schwefelsäure angesäuert ist.

Setzt man die elektromotorische Kraft Cu | Zn = 100, so ist die elektromotorische Kraft Zn | Fl = 149 und die elektromotorische Kraft Fl | Cu = −36 (siehe Erkl. 504).

Daraus ergibt sich die elektromotorische Kraft dieses Zink-Kupfer-Elements:

$$\mathrm{Zn}\,|\,\mathrm{Fl} + \mathrm{Fl}\,|\,\mathrm{Cu} + \mathrm{Cu}\,|\,\mathrm{Zn} = 149 + (-36) + 100 = 249 - 36 = 213$$

Um dieses Beispiel graphisch (d. i. durch Zeichnung) darzustellen, verfahre man wie folgt:

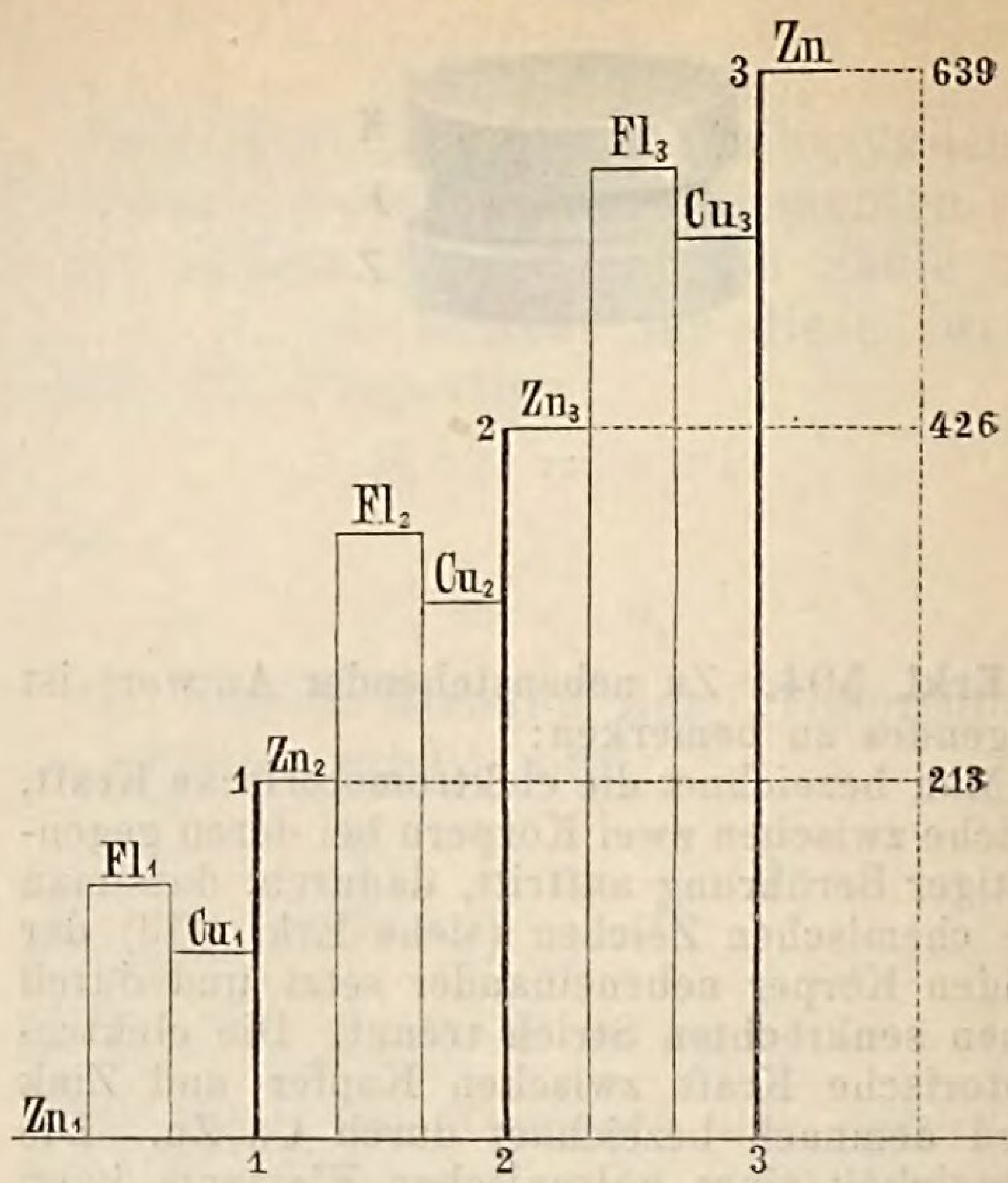
Man ziehe, siehe Figur 171, die Gerade $x x_1$, errichte in einem beliebigen Punkt a derselben eine Senkrechte auf $x x_1$, wähle eine beliebige Strecke als Längeneinheit und trage auf dieser Senkrechten in der gewählten Längeneinheit den Zahlenwert der Grösse Zn | Fl = 149 = ab auf. Dann errichte man auf einem zweiten Punkt c der Linie $x x_1$ eine Senkrechte $cd = ab$ und trage von d aus auf cd den negativen Zahlenwert Fl | Cu = −36 nach unten = ed auf. Ebenso errichte man auf einem dritten Punkt f eine Senkrechte $fg = ce$, verlängere fg beliebig und trage von g aus nach oben den positiven Zahlenwert Cu | Zn = +100 = gh auf. Die Länge der Linie fh = 213 stellt nun die Grösse der elektromotorischen Kraft des betreffenden Zink-Kupfer-Elements = 213 in der gewählten Längeneinheit dar.

In gleicher Weise kann man die elektromotorische Kraft einer Säule von beliebig vielen Elementen graphisch darstellen. In Figur 172 ist z. B. die elektromotorische Kraft einer Säule von 3 Elementen durch die Strecke 3 = 639 graphisch dargestellt (siehe die Erkl. 505—507).

bar zwei Zinkpole, während doch jede Zink-Kupfer-Säule einen (positiven) Kupferpol und einen (negativen) Zinkpol besitzt (siehe Antwort auf Frage 26 und Erkl. 60). Dieser Widerspruch ist jedoch nur scheinbar. Wird ein Element bezw. eine Säule geschlossen, d. h. also durch einen Kupfer- oder Zinkdraht die Pole verbunden, so tritt an der hierbei in Betracht kommenden Berührungsstelle von Kupfer und Zink die entsprechende elektromotorische Kraft Cu|Zn auf, welche demnach hinzuzurechnen ist (siehe Erkl. 507).

Erkl. 507. Wird die Verbindung des Zinkpols mit dem Kupferpol durch einen Draht von anderm Metall oder auch durch eine Reihe sich berührender Drähte von verschiedenen Metallen hergestellt, so ist nach dem Gesetz der Spannungsreihe (siehe Antwort auf Frage 19) hierbei die elektromotorische Kraft zwischen dem Kupferpol und dem Zinkpol genau die gleiche, als wenn ein Zinkdraht oder Kupferdraht angewendet worden wäre.

Figur 172.



2). Ueber die Messung der Stromstärke.

A). Ueber die Messung der Stromstärke mittels des Voltameters.

Frage 323. Auf welchem Gesetz beruht im allgemeinen die Messung der Stromstärke mittels eines Voltameters?

Antwort. Die Messung der Stromstärke mittels eines Voltameters (siehe die Antworten auf die Fragen 155 und folgende) beruht im allgemeinen auf dem elektrolytischen Gesetz:

„Die Stromstärken sind den Gewichtsmengen der durch die betreffenden elektrischen Ströme in derselben Zeit zersetzten Elektrolyte proportional“ (siehe Antwort auf Frage 307),

welches man, wenn m bezw. m_1 die Gewichtsmengen eines und desselben Elektrolyts bezeichnen, welche durch die Stromstärken J bezw. J_1 in der gleichen Zeit zersetzt werden, durch die Proportion:

a). . . . $J : J_1 = m : m_1$

ausdrücken kann.

Frage 324. Wie kann man unter Zugrundelegung des in voriger Antwort erwähnten elektrolytischen Gesetzes im allgemeinen die Stromstärke mittels eines Voltameters messen?

Antwort. Unter Zugrundelegung des in voriger Antwort erwähnten elektrolytischen Gesetzes kann man die Stromstärke im allgemeinen mittels eines Voltameters dadurch messen, dass man eine Stromstärke J_1, welche in einer bestimmten Zeit (in einer Zeiteinheit, z. B. in einer Minute) eine bestimmte Menge eines bestimmten Elektrolyts zersetzt, als Einheit annimmt, und in dieselbe nach der in voriger Antwort aufgestellten Proportion eine andere Stromstärke J ausdrückt.

Frage 325. Welche besonderen Namen führen die bei der Messung von Stromstärken mittels eines Voltameters angenommenen Masseinheiten und welches sind die gebräuchlichsten diesbezüglichen Masseinheiten?

Antwort. Die in voriger Antwort erwähnten, bei der Messung von Stromstärken mittels eines Voltameters angenommenen Masseinheiten nennt man die chemischen Masseinheiten der Stromstärke. Die gebräuchlichsten chemischen Masseinheiten sind:

1). 1 Kubikcentimeter Knallgas in der Minute (siehe Erkl. 210), d. h. also: Als Einheit der Stromstärke betrachtet man einen Strom, welcher in 1 Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas aus schwefelsäurehaltigem Wasser ausscheidet.

2). 1 Milligramm Wasserstoff in der Minute, d. h. also: Als Einheit der Stromstärke betrachtet man einen Strom, welcher in 1 Minute 1 Milligramm Wasserstoff aus schwefelsäurehaltigem Wasser ausscheidet.

3). 1 Milligramm Wasser in der Minute, d. h. also: Als Einheit der Stromstärke betrachtet man einen Strom, welcher in 1 Minute 1 Milligramm Wasser zersetzt. [Bezügl. 1)., 2). und 3). siehe Antwort auf Frage 275].

4). 1 Milligramm Silber in der Minute, d. h. also: Als Einheit der Stromstärke betrachtet man einen Strom, welcher in 1 Minute aus Silberlösungen 1 Milligramm Silber abscheidet.

Erkl. 508. Statt der in nebenstehender Antwort angegebenen chemischen Masseinheiten könnten noch zahlreiche andere elektrolytische Zersetzungsprodukte gewählt werden.

5). 1 Milligramm Kupfer in der Minute, d. h. also: Als Einheit der Stromstärke betrachtet man einen Strom, welcher in 1 Minute aus Kupferlösungen 1 Milligramm Kupfer abscheidet (siehe Erkl. 508).

Frage 326. Welche Beziehungen bestehen zwischen den verschiedenen chemischen Masseinheiten und zu welchem Zweck können diese Beziehungen benutzt werden?

Antwort. Die in voriger Antwort erwähnten chemischen Masseinheiten der Stromstärke verhalten sich nach Antwort auf Frage 323 wie ihre elektrolytischen Aequivalente.

Diese Beziehungen kann man dazu benutzen, um die in einer chemischen Masseinheit gegebene Stromstärke in einer andern chemischen Masseinheit auszudrücken (siehe Erkl. 509).

Dies kann man in Rücksicht, dass die elektrolytischen Aequivalente

für Wasser (H_2O) $= 1 + 8 = 9$
„ Wasserstoff (H) $= 1$
„ Silber (Ag) $= 108$
„ Kupfer (Cu) $= 31,7$

sind, und dass 1 Kubikcentimeter Knallgas ($H_2 + O$) bei 0^0 Celsius und 760 Millimeter Barometerstand 0,5363 Milligramm wiegt, an folgenden Beispielen erläutern:

1). Ist eine Stromstärke = 3 Wasserstoffeinheiten gegeben und soll dieselbe in Wassereinheiten ausgedrückt werden, so besteht, da ein elektrischer Strom, welcher 1 mg Wasserstoff ausscheidet, in der gleichen Zeit 9 mg Wasser zersetzt, d. h. also, da das elektrolytische Aequivalent des Wassers = 9, das des Wasserstoffs = 1 ist, die Proportion:

$$J : 3 = 9 : 1$$
$$J = 27$$

Die genannte Stromstärke ist also in Wassereinheiten ausgedrückt = 27.

2). Ist eine Stromstärke = 50 Kupfereinheiten gegeben und soll dieselbe in Silbereinheiten ausgedrückt werden, so besteht, da das elektrolytische Aequivalent des Kupfers = 31,7, das des Silbers = 108 ist, die Proportion:

Erkl. 509. In nachfolgender Tabelle sind die gebräuchlichen chemischen Masseinheiten übersichtlich zusammengestellt. Mit Hülfe dieser Tabelle kann man die Angaben über Stromstärken rasch aus einer Einheit in eine andere verwandeln. Der Gebrauch dieser Tabelle ergibt sich aus den folgenden Beispielen:

1). [siehe Beisp. 1). in nebenstehender Antw.]. Die Stromstärke von 3 Wasserstoffeinheiten soll in Wassereinheiten ausgedrückt werden.

Aus Spalte 1). der Tabelle ergibt sich: 1 mg H = 9 mg H_2O, also 3 mg H = 3 . 9 = 27 H_2O.

2). [siehe Beisp. 2). in nebenstehender Antw.]. Die Stromstärke = 50 Kupfereinheiten soll in Silbereinheiten ausgedrückt werden.

Aus Spalte 4). der Tabelle ergibt sich: 1 mg Cu = 3,406 mg Ag, also 50 mg Cu = 50 . 3,406 = 170,3 mg Ag.

3). [siehe Beisp. 3). in nebenstehender Antw.]. Die Stromstärke = 10 Knallgasvolumeneinheiten soll in Wassereinheiten ausgedrückt werden.

Aus Spalte 5). der Tabelle ergibt sich: 1 kcm Knallgas = 0,5363 mg H_2O, also 10 kcm Knallgas = 10 . 0,5363 = 5,363 H_2O.

4). [siehe Beisp. 4). in nebenstehender Antw.]. Die Stromstärke = 10 Knallgasvolumeneinheiten soll in Kupfereinheiten ausgedrückt werden.

Aus Spalte 5). der Tabelle ergibt sich: 1 kcm Knallgas = 1,89 mg Cu, also 10 kcm Knallgas = 18,9 mg Cu.

u. s. f.

$$J:50 = 108:31{,}7$$
$$J = \frac{108 . 50}{31{,}7} = 170{,}3$$

Die genannte Stromstärke ist somit in Silbereinheiten ausgedrückt = 170,3.

3). Es sei eine Stromstärke = 10 Knallgasvolumeneinheiten gegeben und es soll dieselbe in Wassereinheiten ausgedrückt werden.

1 kcm Knallgas wiegt 0,5363 mg. Ein elektrischer Strom, welcher 1 kcm Knallgas ($H_2 + O$) ausscheidet, zersetzt demnach 0,5363 mg Wasser (H_2O). Es besteht sonach für den genannten Strom die Proportin:

$$x:10 = 0{,}5363:1$$
$$x = 10 . 0{,}5363$$
$$x = 5{,}363$$

Die genannte Stromstärke ist sonach in Wassereinheiten ausgedrückt = 5,363.

4). Die unter 3). genannte Stromstärke soll in Kupfereinheiten ausgedrückt werden.

1 kcm Knallgas wiegt 0,5363 mg, 10 kcm Knallgas sonach 5,363 mg.

Ein elektrischer Strom, welcher 9 mg Knallgas ausscheidet, scheidet 31,7 mg Kupfer aus. Somit besteht für den genannten Strom die Proportion:

$$x: 5{,}363 = 31{,}7:9$$
$$x = 18{,}9$$

Die unter 3). genannte Stromstärke von 10 Knallgasvolumeneinheiten ist sonach in Kupfereinheiten = 18,9.

Chemische Masseinheiten der Stromstärke.

In 1 Minute		Wasserstoff (H) mg	Wasser (H_2O) mg	Silber (Ag) mg	Kupfer (Cu) mg	Knallgas (H_2+O) kcm	Ampère
1). 1 mg Wasserstoff (H)	=	1	9	108	31,7	16,78	1,61
2). 1 mg Wasser (H_2O)	=	0,11	1	12	3,52	1,86	0,179
3). 1 mg Silber (Ag)	=	0,00926	0,0833	1	0,294	0,155	0,0149
4). 1 mg Kupfer (Cu)	=	0,0315	0,284	3,406	1	0,529	0,0508
5). 1 kcm Knallgas (H_2+O)	=	0,0596	0,5363	6,44	1,89	1	0,0958
6). 1 Ampère	=	0,621	5,60	67,08	19,68	10,44	1

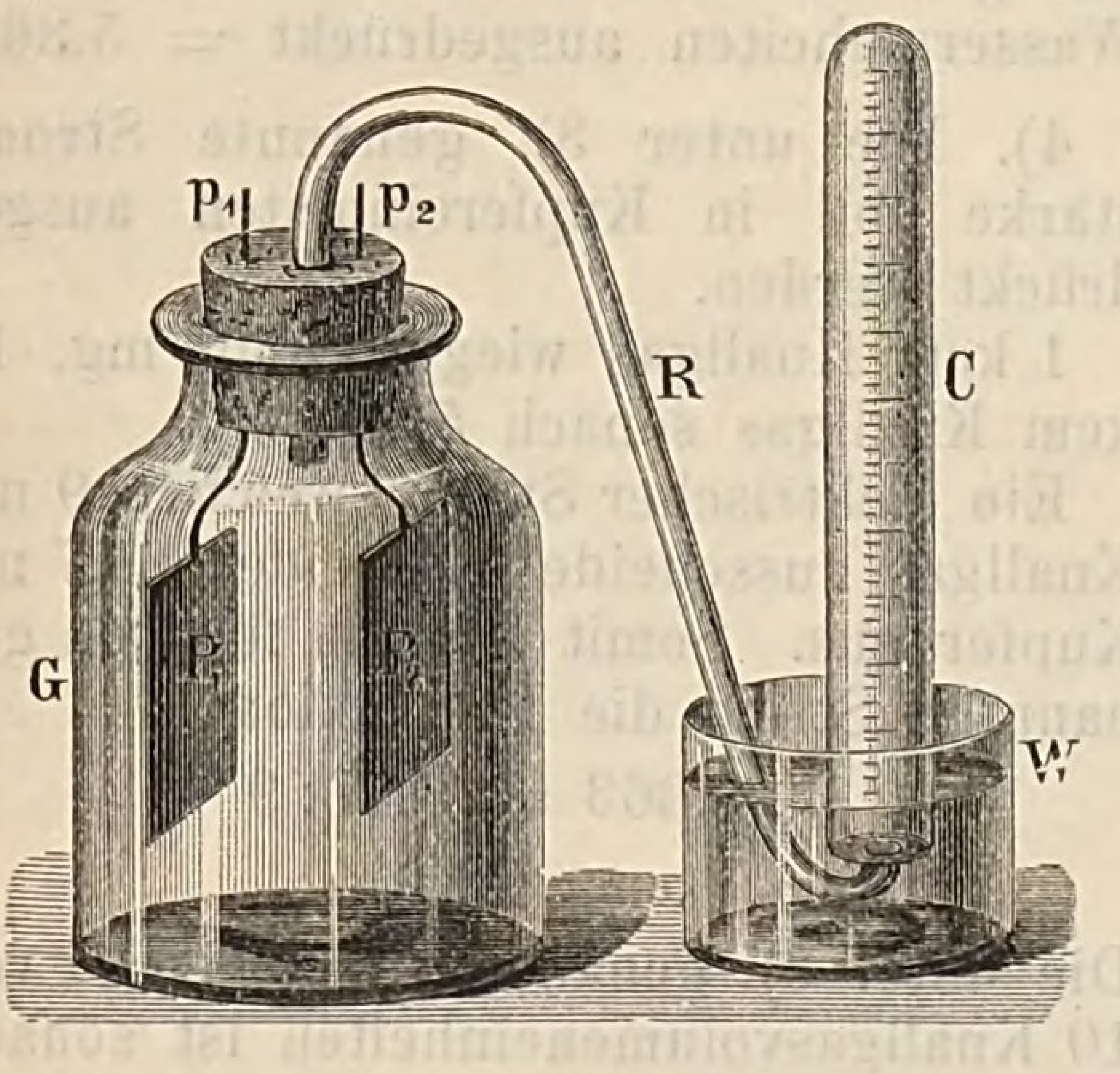
Erkl. 510. Die in vorstehender Tabelle verzeichnete Masseinheit „Ampère“ ist die sog. technische Einheit der Stromstärke, welche vom Kongress der Elektriker zu Paris im Jahre 1882 festgesetzt wurde. Diese Einheit ist aus dem absoluten oder Centimeter-Gramm-Sekunden-(C.G.S.)System abgeleitet, und zwar ist 1 Ampère = 0,1 C.G., oder wie man zu schreiben pflegt = 10^{-1} C.G.

Ausführliches über das absolute Masssystem und die daraus abgeleiteten technischen Masseinheiten findet man in dieser Encyklopädie in dem Lehrbuch der in der Mechanik und Elektrotechnik gebräuchlichen Masse.

Frage 327. Wie wird die Messung der Stromstärke mittels des Knallgasvoltameters ausgeführt und wie wird das Volumen des Knallgases berechnet?

Die gegebene Antwort ist an einem Beispiel zu erläutern.

Figur 173.



Erkl. 511. Ein Barometer ist ein Instrument zur Messung des Luftdrucks (siehe Erklärung 512).

Erkl. 512. Die Grösse des Luftdrucks wird ausgedrückt durch die in Millimeter gemessene Höhe derjenigen Quecksilbersäule, welche diesem Luftdruck das Gleichgewicht hält. Da diese Messung (siehe vorige Erklärung) mittels des Barometers geschieht, so spricht man vom „Barometerstand“ und versteht unter dieser Bezeichnung den durch eine Quecksilbersäule in Millimeter gemessenen Luftdruck.

Erkl. 513. Unter dem „mittleren“ oder „normalen“ Barometerstand versteht man den Luftdruck, welcher bei 0° Celsius einer Queck-

Antwort. Jede Messung der Stromstärke mittels des Knallgasvoltameters (siehe die Antworten auf die Fragen 159—161) kann man in 5 Abteilungen zerlegen; dieselben bestehen:

1). In der Abscheidung des Knallgases durch den zu messenden elektrischen Strom;

2). in der Korrektion des während der Messung beobachteten Barometerstands auf 0° Celsius;

3). in der Berechnung des Drucks, unter welchem das abgeschiedene Knallgas steht;

4). in der Reduktion des Volumens des abgeschiedenen Knallgases auf den normalen Barometerstand von 760 Millimeter und 0° Celsius;

5). in der Berechnung des Volumens des in 1 Minute abgeschiedenen Knallgases aus dem Volumen des in der angewendeten Zeit abgeschiedenen Knallgases.

Die Messung der Stromstärke wird dieser Einteilung entsprechend folgendermassen ausgeführt:

a). Zur Abscheidung des Knallgases durch den zu messenden elektrischen Strom

wird das Voltameter, siehe Figur 173, in der in Antwort auf Frage 159 beschriebenen Weise der Wirkung des zu messenden Stroms während einer bestimmten, genau gemessenen Zeit von n Minuten ausgesetzt. Um die Zeit, während welcher der elektrische Strom das Voltameter durchfliesst, genau be-

silbersäule von 760 Millimeter Höhe das Gleichgewicht hält.

Erkl. 514. Ein physikalisches Gesetz heisst:

„Das Volumen, welches eine bestimmte Gewichtsmenge eines Gases einnimmt, ist umgekehrt proportional dem auf diesem Gase lastenden Druck."

Dieses Gesetz wird nach seinem Entdecker das Mariottesche Gesetz genannt.

Bezeichnet V das Volumen einer bestimmten Gewichtsmenge eines Gases bei dem darauf lastenden Druck b, V_1 das Volumen der gleichen Gewichtsmenge dieses Gases bei dem Druck b_1, so besteht nach dem Mariotteschen Gesetz die Relation:

a). $V_1 : V = b : b_1$

Aus dieser Gleichung ergibt sich:

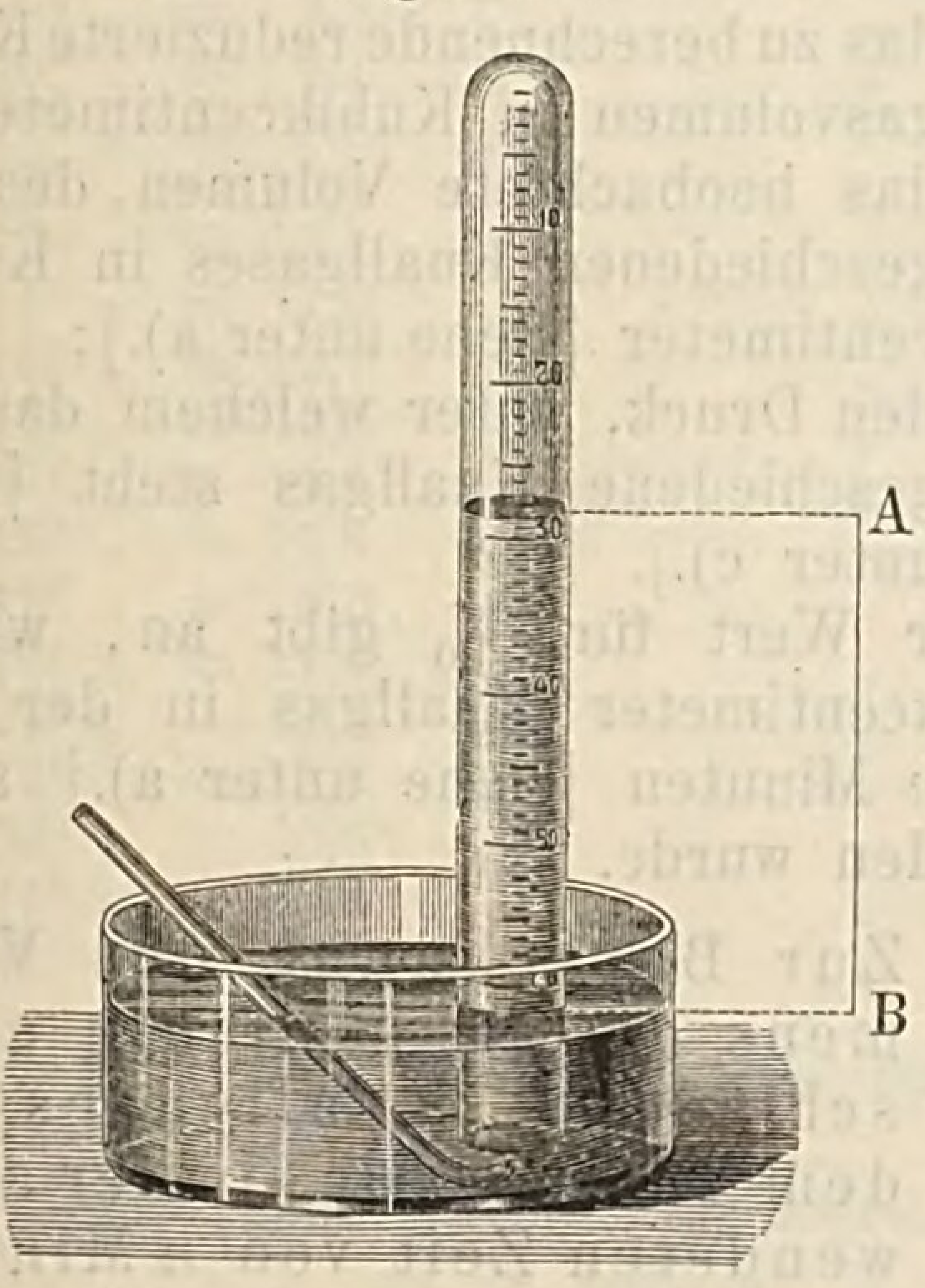
b). $V_1 = \frac{V \cdot b}{b_1}$

Ist in dieser Gleichung b_1 = dem normalen Barometerstand (siehe Erkl. 513), also = 760 Millimeter, so geht diese Gleichung über in:

c). $V_1 = \frac{V \cdot b}{760}$

wobei jedoch vorausgesetzt ist, dass die Temperatur während der Veränderung des Barometerstands die gleiche bleibt (siehe Erkl. 515).

Figur 174.



Erkl. 515. Sämtliche Gase dehnen sich aus, wenn sie erwärmt werden. Diese Ausdehnung beträgt bei allen Gasen, wenn sie um 1° Celsius erwärmt werden, 0,00367 ihres vorherigen Volumens; wenn sie um t^0 Celsius erwärmt werden, demnach $0{,}00367 \cdot t$ ihres vorherigen Volumens.

stimmen zu können, schaltet man in den Stromkreis einen Stromschlüssel ein (siehe die Antworten auf die Fragen 140—143) und bewirkt die Schliessung und Oeffnung mittels dieses Stromschlüssels.

Während dieser bestimmten Zeit sammelt sich das abgeschiedene Knallgas in dem in den Figuren 173 und 174 dargestellten Messcylinder an und verdrängt aus demselben das seinem Volumen entsprechende Volumen Wasser. Dieser Messcylinder ist mit einer Gradeinteilung versehen, an welcher man den Rauminhalt desselben in Kubikcentimeter (und in Zehntel-Kubikcentimeter) ablesen kann. Das Volumen des abgeschiedenen Knallgases wird nun an dieser Gradeinteilung möglichst genau abgelesen und notiert.

b). Zur Korrektion des während der Messung herrschenden Barometerstands auf 0° Celsius (siehe Erkl. 517)

liest man den Barometerstand in Millimeter, welcher während der Messung herrscht, von einem Barometer (siehe die Erkl. 511 und 512) ab, und gleichzeitig liest man auch die Temperatur des Quecksilbers des Barometers an einem an dem Barometer angebrachten Celsius-Thermometer ab und bewirkt die Korrektion des Barometerstands nach folgender Gleichung:

1). . . . $b_0 = b_t - 0{,}135\, t$

(siehe Erkl. 517).

c). Zur Berechnung des Drucks, unter welchem das abgeschiedene Knallgas steht (siehe Erklärung 514),

misst man die Höhe AB, siehe Figur 174, um welche die in dem Messcylinder befindliche Flüssigkeitssäule den Spiegel der Flüssigkeit in der pneumatischen Wanne (siehe Erkl. 444) überragt.

Alsdann stellt man das spezifische Gewicht der Absperrflüssigkeit, d. h. der Flüssigkeit im Messcylinder bezw. in der pneumatischen Wanne, fest (siehe die Erkl. 518 und 519) und bringt zur Berechnung des Drucks h, unter welchem das Knallgas steht, folgende Gleichung in Anwendung:

Bezeichnet man das Volumen einer bestimmten Gewichtsmenge eines Gases bei 0° Celsius mit V_0, das Volumen dieser selben Gewichtsmenge bei t° Celsius mit V_t, so besteht hiernach die Gleichung:

a). . . . $V_t = V_0 + 0{,}00367\,t\,.\,V_0$

b). $= V_0\,(1 + 0{,}00367\,t)$

Daraus ergibt sich:

$$V_0 = \frac{V_t}{1 + 0{,}00367\,t}$$

Erkl. 516. Aus Gleichung c). in Erkl. 514 kann man das Volumen V_1 einer bestimmten Gewichtsmenge eines Gases beim normalen Barometerstand berechnen, wenn das Volumen V dieser selben Gewichtsmenge bei einem bestimmten Barometerstand b gemessen wurde, unter der Voraussetzung, dass bei beiden Barometerständen die Temperatur die gleiche ist. Ist jedoch die Temperatur bei dem abgelesenen Barometerstand $b = t$° Celsius, und soll daraus das Volumen V_1 bei 0° Celsius berechnet werden, so ist nach voriger Erkl.:

a). $V = \dfrac{V_t}{1 + 0{,}00367\,t}$

Wenn man diesen Wert von V in Gleichung c). (siehe Erkl. 514) einsetzt, so erhält man:

b). . . $V_1 = \dfrac{V_t}{1 + 0{,}00367\,t} \cdot \dfrac{b}{760}$

Mittels dieser Gleichung kann man also das Volumen V_1 einer bestimmten Gewichtsmenge eines Gases bei 0° Celsius und dem normalen Barometerstand (siehe Erkl. 513) berechnen, wenn das Volumen V_t dieser selben Gewichtsmenge bei der Temparatur t und dem Barometerstand b gegeben sind.

Erkl. 517. Zu nebenstehender Antwort unter b). ist zu bemerken:

Bei der Ablesung des Barometerstands, d. h. bei der Messung der Länge der Quecksilbersäule, welche dem Luftdruck das Gleichgewicht hält (siehe Erkl. 512), muss die Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme berücksichtigt werden. Dies kann mit Hülfe der folgenden angenäherten Gleichung geschehen:

$$b_0 = b_t - 0{,}135\,.\,t$$

worin bedeutet:

b_0 den zu berechnenden „korrigierten Barometerstand",

b_t den von dem Barometer abgelesenen Barometerstand,

t die Temperatur des Quecksilbers des Barometers während der Ablesung.

Erkl. 518. Zu nebenstehender Antwort unter c). ist zu bemerken, dass das Knallgas bei den Messungen der Stromstärke entweder über

2). . . $h = b_0 - H \cdot \dfrac{s}{13{,}6} - f$

(siehe die Erkl. 519, 520 u. 524).

In dieser Gleichung bedeutet:

h den zu berechnenden Druck, unter welchem das Knallgas steht;

b_0 den unter b). erwähnten korrigierten Barometerstand in Millimeter;

H die Höhe AB der Flüssigkeitssäule im Messcylinder in Millimeter, siehe Figur 174;

s das spezifische Gewicht der Absperrflüssigkeit (siehe Erkl. 518);

f die Spannkraft des Dampfes der Absperrflüssigkeit bei der Temperatur der Umgebung (siehe die Erkl. 520 bis 523).

d). Zur Reduktion des Volumens des abgeschiedenen Knallgases auf 760 Millimeter Barometerstand und 0° Celsius bedient man sich der Gleichung:

3). . . $V_0 = \dfrac{V_t}{1 + 0{,}00367\,t} \cdot \dfrac{h}{760}$

(siehe Erkl. 516).

In dieser Gleichung bedeutet:

V_0 das zu berechnende reduzierte Knallgasvolumen in Kubikcentimeter;

V_t das beobachtete Volumen des abgeschiedenen Knallgases in Kubikcentimeter [siehe unter a).];

h den Druck, unter welchem das abgeschiedene Knallgas steht [siehe unter c).].

Der Wert für V_0 gibt an, wieviel Kubikcentimeter Knallgas in der Zeit von n Minuten [siehe unter a).] abgeschieden wurde.

e). Zur Berechnung des Volumens des in 1 Minute abgeschiedenen Knallgases aus dem Volumen des in der angewendeten Zeit von n Minuten abgeschiedenen Knallgases dient die Gleichung:

4). $V = \dfrac{V_0}{n}$

In dieser Gleichung bedeutet:

V das zu berechnende Volumen des

Wasser, über Schwefelsäure oder über Quecksilber aufgefangen wird.

Das spezifische Gewicht

des Wassers ist		= 1
des Quecksilbers		= 13,6
der Schwefelsäure von 18 %	Säuregehalt	= 1,13
„ „ „ 27 %	„	= 1,20
„ „ „ 33 %	„	= 1,25

Erkl. 519. Ausführliches über die Bestimmung bezw. Berechnung des specifischen Gewichts und die Ableitung der in nebenstehender Antwort unter c). angegebenen Gleichung 2). findet man in dieser Encyklopädie in *Kleyer*s Lehrbuch der Mechanik.

Erkl. 520. Unter der Spannkraft eines Gases versteht man das Bestreben dieses Gases sich auszudehnen. Ausführliches über die Spannkraft der Gase findet man in dieser Encyklopädie in *Kleyer*s Lehrbuch der Mechanik (siehe Erkl. 521).

Erkl. 521. Die in nebenstehender Antwort erwähnte Spannkraft des Dampfes ist für Wasser (nach *F. Kohlrausch*):

bei 0° C.	= 4,6	Millimet. Quecksilbersäule,
„ 1° „	= 4,9	„ „
„ 2° „	= 5,3	„ „
„ 3° „	= 5,7	„ „
„ 4° „	= 6,1	„ „
„ 5° „	= 6,5	„ „
„ 6° „	= 7,0	„ „
„ 7° „	= 7,5	„ „
„ 8° „	= 8,0	„ „
„ 9° „	= 8,5	„ „
„ 10° „	= 9,1	„ „
„ 11° „	= 9,8	„ „
„ 12° „	= 10,4	„ „
„ 13° „	= 11,1	„ „
„ 14° „	= 11,9	„ „
„ 15° „	= 12,7	„ „ .
„ 16° „	= 13,5	„ „
„ 17° „	= 14,4	„ „
„ 18° „	= 15,3	„ „
„ 19° „	= 16,3	„ „
„ 20° „	= 17,4	„ „
„ 21° „	= 18,5	„ „
„ 22° „	= 19,6	„ „
„ 23° „	= 20,9	„ „
„ 24° „	= 22,2	„ „
„ 25° „	= 23,5	„ „

Erkl. 522. Die Spannkraft des Dampfes der Schwefelsäure ist:

bei 18% Säuregehalt, d.i. bei	1,13 spez. Gew.	= 0,9
„ 27% „ „ „	1,20 „ „	= 0,8
„ 33% „ „ „	1,25 „ „	= 0,7

von derjenigen des Wasserdampfs bei gleicher Temperatur.

Wird das Knallgas bei der in nebenstehender Antwort beschriebenen Messung über Schwefelsäure aufgefangen, so erhält man die Spannkraft des Dampfes der angewendeten Schwefel-

durch den gemessenen Strom in 1 Minute abgeschiedenen Knallgases;

V_0 das Volumen des in der angewendeten Zeit durch den zu messenden Strom abgeschiedenen und nach c). berechneten Knallgases;

n die angewendete Zeit in Minuten.

Diese Berechnung der mittels des Knallgasvoltameters gemessenen Stromstärke kann man durch folgendes Beispiel erläutern:

Angenommen:

Der elektrische Strom einer galvanischen Säule wirkte genau $n = 10$ Minuten lang auf das angesäuerte Wasser eines gewöhnlichen Wasserzersetzungsapparats;

das Volumen des in dem Messcylinder angesammelten Knallgases wurde zu $V_t = 25$ Kubikcentimeter abgelesen;

die Temperatur t am Barometer und am Voltameter betrug 20° Celsius;

der abgelesene Barometerstand b_t betrug 755 Millimeter;

die als Absperrflüssigkeit verwendete Schwefelsäure (25prozentige Säure) hatte ein spezifisches Gewicht $s = 1,20$ (siehe Erkl. 518); und

die Höhe der Flüssigkeitssäule AB im Messcylinder, siehe Figur 174, war $H = 100$ Millimeter;

so ist nach Gleichung 1). der reduzierte Barometerstand:

$$\begin{aligned} b_0 &= 755 - 0,135 \,.\, 20 \\ &= 755 - 2,70 \\ &= 752,3 \text{ Millimeter.} \end{aligned}$$

Nach Erkl. 521 ist die Spannkraft des Wasserdampfes bei 20° Celsius = 17,4 Millimeter; nach Erkl. 522 ist die Spannkraft des Dampfes der angewendeten Schwefelsäure:

$$\begin{aligned} f &= 17,4 \,.\, 0,8 \\ &= 13,9 \end{aligned}$$

Nach Gleichung 2). ist demnach der Druck, unter welchem das abgeschiedene Knallgas steht:

$$\begin{aligned} h &= 752,3 - 100 \cdot \frac{1,20}{13,6} - 13,9 \\ &= 752,3 - 8,8 - 13,9 \\ &= 729,6 \text{ Millimeter.} \end{aligned}$$

säure, wenn man den für die Spannkraft des Wasserdampfes bei der betreffenden Temperatur in voriger Erklärung angegebenen Wert je nach dem Gehalt der Absperrschwefelsäure, bezw. je nach dem spezifischen Gewicht derselben, mit 0,9, bezw. mit 0,8, bezw. mit 0,7 multipliziert.

Erkl. 523. Wird das Knallgas bei der in nebenstehender Antwort beschriebenen Messung über Quecksilber aufgefangen, so kann man, da die Spannkraft des Quecksilberdampfes

bei 0° Celsius nur 0,01 Millimeter,
„ 20° „ „ 0,02 „

ist, diesen kleinen Wert vernachlässigen; Gleichung c). geht dann über in die Gleichung:

$$\text{a).} \quad h = b_0 - H\frac{s}{13{,}6}$$

Da nun das spezifische Gewicht des Quecksilbers = 13,6 ist (siehe Erkl. 518), so ist:

$$h = b_0 - H\frac{13{,}6}{13{,}6}$$

$$\text{b).} \quad = b_0 - H$$

Erkl. 524. Um die in nebenstehender Antwort unter c). angegebenen, etwas umständlichen Messungen und Berechnungen zu ersparen, kann man verfahren wie folgt:

Man drücke eine gutschliessende Glasplatte an die Oeffnung des Messcylinders, siehe Figur 174, hebe denselben aus dem Gefäss und setze ihn in ein tieferes Gefäss, welches mit der gleichen Absperrflüssigkeit gefüllt ist, wie das Gefäss in Figur 174. Alsdann befestige man den Messcylinder in derjenigen Höhe, dass der Flüssigkeitsspiegel im Cylinder genau die gleiche Höhe hat, wie die Flüssigkeit des tiefen Gefässes. In diesem Falle ist AB (siehe Fig. 174) $= H = 0$, das Glied $\frac{H \cdot s}{13{,}6}$ in Gleichung 2)., siehe nebenstehende Antwort unter c)., wird somit $= 0$, und Gleichung 2). geht über in:

$$h = b_0 - f$$

Erkl. 525. In dem in voriger Erklärung erwähnten Falle geht die Gleichung 3)., [siehe nebenstehende Antwort unter d).], über in:

$$V_0 = \frac{V_t}{1 + 0{,}00367 \cdot t} \cdot \frac{b_0 - f}{760}$$

Erkl. 526. Hülfsrechnung zu der in nebenstehendem Beispiel enthaltenen Gleichung:

$$V_0 = \frac{25 \cdot 729{,}6}{1{,}0734 \cdot 760}$$

log 25 = 1,39794 log 1,0734 = 0,03076
log 729,2 = 2,86308 log 760 = 2,88081
4,26102 2,91157

4,26102
— 2,91157
numlog 1,34945 = 22,9

Nach Gleichung 3). ist das Volumen des abgeschiedenen Knallgases bei 760 Millimeter Barometerstand und 0° Cels.:

$$V_0 = \frac{25}{1 + 0{,}00367 \cdot 20} \cdot \frac{729{,}6}{760}$$

$$= \frac{25 \cdot 729{,}6}{1{,}0734 \cdot 760} \quad \text{(siehe Erkl. 526)}$$

$$= 22{,}9 \text{ Kubikcentim. Knallgas.}$$

Nach Gleichung 4). ist somit das Volumen des durch den gemessenen elektrischen Strom in 1 Minute abgeschiedenen Knallgases:

$$V = \frac{22{,}9}{10}$$

$$= 2{,}29$$

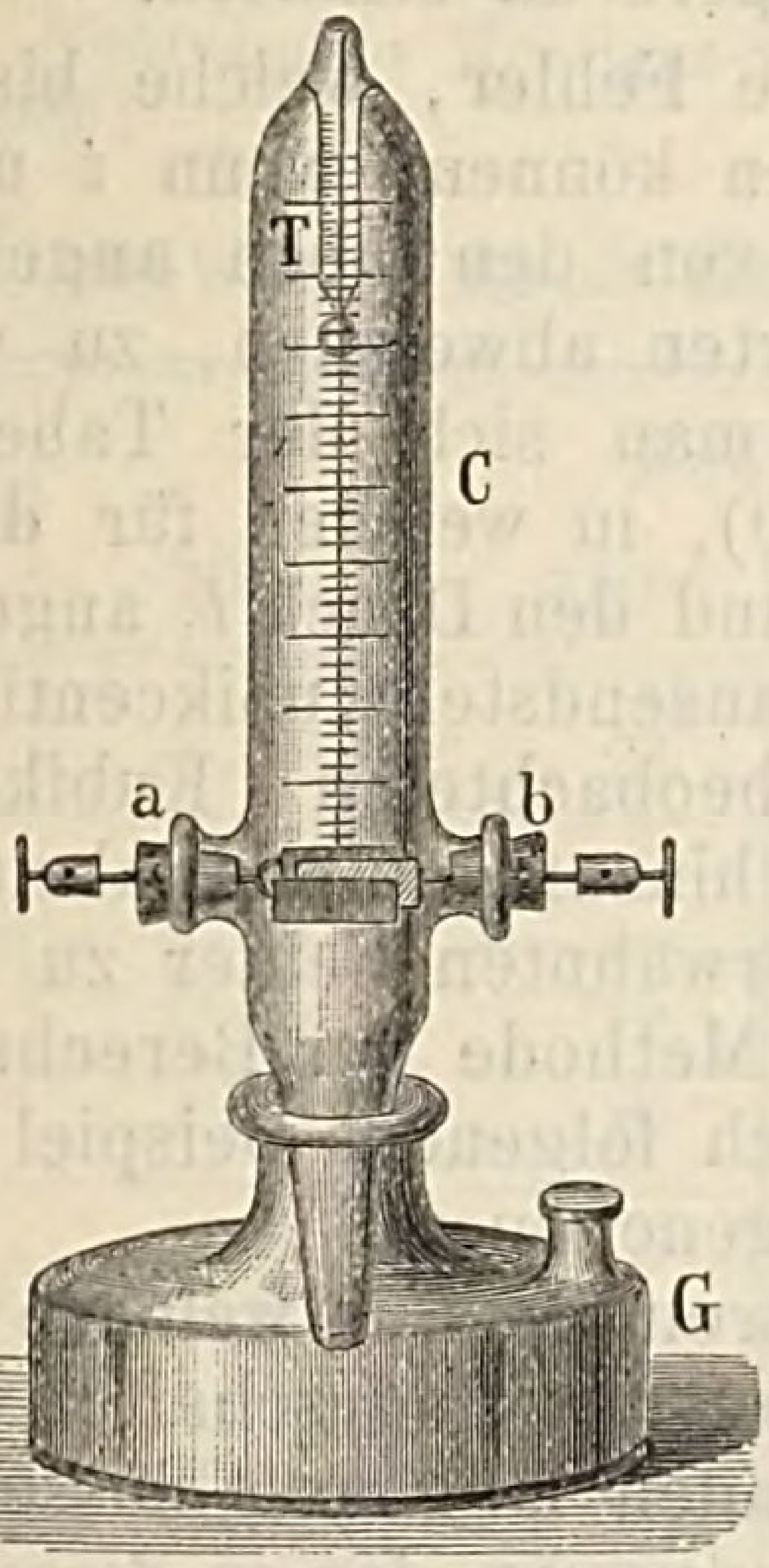
Nach Antwort auf Frage 325 unter 1). ist somit die Stromstärke J des gemessenen elektrischen Stroms in Knallgaseinheiten ausgedrückt:

$$J = 2{,}29$$

Frage 328. Wie kann man die in voriger Antwort beschriebene Methode der Messung der Stromstärke mittels des Knallgas-Voltameters nach *F. Kohlrausch* in vereinfachter Form ausführen?

Die gemachte Aussage ist durch ein Beispiel zu erläutern.

Figur 175.



Erkl. 527. Um das in nebenstehender Antwort beschriebene abgekürzte Verfahren anzuwenden, muss man eine 20prozentige Schwefelsäure anwenden, weil die in nebenstehender Antwort abgeleitete Gleichung b). nur für 20-prozentige Schwefelsäure gilt. Für Schwefelsäure von einer andern Konzentration muss man diese Gleichung b). entsprechend abändern.

Erkl. 528. Bei dem nebenstehend bezeichneten Grad der Genauigkeit ist die Korrektion des Barometerstands auf 0° Celsius [siehe vorige Antwort unter b).] in gewöhnlichen Fällen nicht erforderlich.

Beweis. Selbst wenn der Barometerstand 760 Millimeter erreicht und bei 25° Celsius abgelesen wird, ist der Korrektionswert

$$= 0{,}135 \,.\, 25$$
$$= 3{,}375$$

erreicht also noch nicht die angegebene Grenze von 4 Millimeter. Bei höheren Temperaturen und einem hohen Barometerstand würde jedoch diese Grenze überschritten. In solchen (ausnahmsweisen) Fällen ist die Korrektion erforderlich.

Antwort. Um stärkere Ströme rasch zu messen und mit genügender Genauigkeit zu berechnen, kann man nach *F. Kohlrausch* sich dessen Knallgas-Voltameters bedienen (siehe Antwort auf Frage 160).

Um Stromstärken bis zu 30 Ampère (siehe Erkl. 510) zu messen, soll nach *F. Kohlrausch* der Cylinder C, siehe Figur 175, 40 Millimeter Durchmesser haben, in je 5 Kubikcentimeter geteilt sein und 200 Kubikcentimeter Inhalt besitzen. Die drei Elektrodenbleche sind je 17 Millimeter breit und je 40 Millimeter lang. Der Abstand zwischen denselben beträgt etwa 3 Millimeter.

Zur Messung von Stromstärken mittels dieses Voltameters verfährt man nach *F. Kohlrausch* wie folgt:

Man fülle das Voltameter in der in Antwort auf Frage 160 beschriebenen Weise mit 20prozentiger Schwefelsäure (von 1,14 spez. Gewicht, siehe Erkl. 518 u. 527), schalte das Voltameter nebst einem Stromschlüssel in den Stromkreis ein und bewirke das Schliessen und Oeffnen des Stromes mittels dieses Stromschlüssels.

Damit das Messungsresultat auf $^1/_2\,^0/_0$ genau wird, muss die Temperatur auf 1° Celsius, der Druck auf etwa 4 Millimeter Quecksilbersäule genau ermittelt werden (siehe Erkl. 528).

Man bestimme nun die Höhe H der Flüssigkeitssäule im Messcylinder C [siehe vorige Antwort unter c).]. Für die hier verwendete Schwefelsäure ist alsdann der Druck, unter welchem das Knallgas steht, nach Gleichung 2). in voriger Antwort:

$$\text{a).} \;.\;.\;.\; h = b - \frac{H \,.\, 1{,}14}{13{,}6}$$

$$\text{b).} \;.\;.\;.\;.\; = b - \frac{1}{12} H$$

Bei der Temperatur $t = 20^0$ Celsius und dem Druck $h = 725$ Millimeter wird durch eine Stromstärke von 1 Ampère in 1 Sekunde $^1/_5$ Kubikcentimeter

Erkl. 529. Der in nebenstehender Antwort in Ampère ausgedrückte Wert der Stromstärke

für $t = 20^0$ Celsius
$h = 725$ Millimeter für feuchtes Gas

wird folgendermassen berechnet:

Nach Erklärung 521 ist die Spannkraft des Wasserdampfes bei 20^0 Celsius $= 17,4$ Millimeter; nach Erkl. 522 ist die Spannkraft f des Dampfes der Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,14 (20prozentige Säure) $= 0,88$ von der des Wasserdampfes bei gleicher Temperatur, also in vorliegendem Falle:

$$f = 17,4 \,.\, 0,88$$

somit ist für trockenes Gas:

$$h = 725 - 17,5 \,.\, 0,88$$

Dieser Wert von h ist in Gleichung 3). [siehe vorige Antwort unter d).] einzusetzen; dieselbe lautet dann:

$$V_0 = \frac{V_t}{1 + 0,00367 \,.\, 20} \cdot \frac{725 - 17,4 \,.\, 0,88}{760}$$

Setzt man $V_t = 1$ Kubikcentimeter, so ist:

$$V_0 = \frac{1\,(725 - 17,4 \,.\, 0,88)}{(1 + 0,00367 \,.\, 20)\, 760}$$

$$= 0,87 \text{ Kubikcentimeter,}$$

d. h. also: Die Knallgasmenge, welche bei 20^0 Celsius und einem Druck von 725 Millimeter Quecksilbersäule ein Volumen $V_t = 1$ Kubikcentimeter hat, hat bei 0^0 Celsius und einem Druck von 760 Millimeter Quecksilbersäule ein Volumen $V_0 = 0,87$ Kubikcentimeter.

Um nun zu berechnen, welche Stromstärke in Ampère erforderlich ist, um diese 0,87 Kubikcentimeter Knallgas in 1 Sekunde abzuscheiden, verfährt man wie folgt:

Nach Erkl. 509 entspricht 1 Ampère 10,44 Kubikcentimeter Knallgas pro Minute, also

$$\frac{10,44}{60} = 0,174 \text{ Kubikcentimeter pro Sekunde.}$$

Es besteht sonach folgende Proportion:

$$0,174 : 1 \text{ Ampère} = 0,87 : x \text{ Ampère}$$

$$x = \frac{0,87}{0,174}$$

$$= 5 \text{ Ampère.}$$

Somit scheidet bei 20^0 Celsius die Stromstärke von 5 Ampère in 1 Sekunde 1 Kubikcentimeter Knallgas ab, wenn letzteres unter einem Druck steht, welcher einer Quecksilbersäule von 725 Millimeter das Gleichgewicht hält.

feuchtes Knallgas abgeschieden (siehe Erkl. 529). Man kann daher sagen:

„Der Strom von 1 Ampère entwickelt in 1 Sekunde $^1/_5$ Kubikcentimeter Knallgas,“

oder auch:

„Die in 1 Sekunde ausgeschiedenen Kubikcentimeter Knallgas sind mit 5 zu multiplizieren, um die Stromstärke in Ampère zu erhalten.“

Um die Fehler, welche bis zu 10 % anwachsen können, wenn t und h bedeutend von den oben angenommenen Mittelwerten abweichen, zu vermeiden, bediene man sich der Tabelle (siehe Erkl. 530), in welcher für die Temperatur t und den Druck h angegeben ist, wieviel Tausendstel Kubikcentimeter man jedem beobachteten Kubikcentimeter Knallgas hinzufügen oder abziehen muss, um den erwähnten Fehler zu beseitigen.

Diese Methode der Berechnung kann man durch folgendes Beispiel erläutern:

Angenommen:

Der Stromkreis, in welchen das Knallgas-Voltameter eingeschaltet wurde, war 52 Sekunden lang geschlossen;

das Volumen des in dieser Zeit abgeschiedenen Knallgases wurde zu 200 Kubikcentimeter abgelesen;

die Höhe H der Flüssigkeitssäule [siehe vorige Antwort unter c).] war 102 Millimeter;

die Temperatur t der Umgebung war 13^0 Celsius; und

der Barometerstand b wurde beobachtet zu 752 Millimeter;

so hat man für den Druck nach Gleichung b).:

$$h = 752 - 102 \cdot \frac{1}{12}$$

oder:

$$h = 752 - 8,5$$

woraus:

$$h = 743,5 \text{ Millimeter.}$$

Da sich aus der Tabelle in Erkl. 530 für $t = 13$ und $h = 743,5$ der Korrektionswert $= 60$ Tausendstel (siehe Erkl. 531) ergibt, so erhält man das korrigierte Volumen:

$$V = 200 + 200 \,.\, 0,060$$

$$= 200 + 12,0$$

$$= 212 \text{ Kubikcentimeter.}$$

Da diese 212 Kubikcentimeter in 52 Sekunden abgeschieden wurden, so werden durch den gemessenen elektrischen Strom in 1 Sekunde

$$\frac{212}{52} = 4{,}1 \text{ Kubikcentimeter}$$

abgeschieden.

Daraus ergibt sich die Stromstärke J in Ampère:

$$J = 4{,}1 \,.\, 5 = 20{,}5 \text{ Ampère.}$$

Erkl. 530. Die in nebenstehender Antwort erwähnte Korrektionstabelle für die Ablesungen an *Kohlrauschs* Knallgas-Voltameter ist die folgende:

Korrektionswerte nach Kohlrausch in Tausendstel Kubikcentimeter.

Temperatur t^0 C.	Beobachteter Druck h in Millimeter 700	710	720	730	740	750	760
10	+ 9	24	38	53	68	82	97
11	+ 5	19	33	48	63	78	93
12	+ 1	15	29	44	59	73	88
13	— 4	10	24	39	54	69	83
14	— 8	6	20	35	49	64	78
15	— 13	2	16	30	44	59	73
16	— 17	— 3	11	26	40	54	68
17	— 22	— 7	7	21	35	49	63
18	— 26	— 12	2	16	30	45	59
19	— 31	— 17	— 3	11	26	40	54
20	— 35	— 21	— 7	7	21	35	49
21	— 40	— 26	— 12	2	16	30	44
22	— 44	— 31	— 17	— 3	11	25	39
23	— 49	— 35	— 22	— 8	6	20	34
24	— 54	— 40	— 26	— 12	1	15	29
25	— 58	— 45	— 31	— 17	— 4	10	24

Diese Tabelle gibt an, wieviel Tausendstel Kubikcentimeter jedem nach *Kohlrauschs* Methode beobachteten Kubikcentimeter Knallgas hinzuzufügen ist, wenn die Beobachtung bei einer Temperatur von t^0 Celsius und einem nach *Kohlrausch* berechneten Druck h erfolgte. Diejenigen Werte der Tabelle, welche ein — Vorzeichen haben, sind von jedem beobachteten Kubikcentimeter abzuziehen.

Beispiel 1. Beobachtet wurde bei 20⁰ Celsius 200 Kubikcentimeter Knallgas. Der Druck h ist nach nebenstehender Antwort berechnet = 730 Millimeter.

Aus der Tabelle ergibt sich für $t = 20^0$ C.

und $h = 730$ Millimeter der Korrektionswert + 7 Tausendstel. Demnach ist zu dem Volumen zu addieren: 0,007 . 200 = 1,4. Das Volumen ist somit korrigiert = 201,4 Kubikcentimeter.

Beispiel 2. Beobachtet wurde bei $t = 18^0$ Celsius und $h = 710$ Millimeter 150 Kubikcentimeter Knallgas.

Die Tabelle ergibt den Korrektionswert — 12 Tausendstel. Demnach ist von 150 Kubikcentimeter zu subtrahieren: 0,012 . 150 = 1,8. Das korrigierte Volumen ist somit = 150 — 1,8 = 148,2 Kubikcentimeter.

Erkl. 531. In der Tabelle (siehe Erkl. 530) ist der Korrektionswert für $h = 743{,}5$ nicht direkt angegeben. Man notiere daher den nächst grösseren angegebenen Korrektionswert für $h = 750$ zu 69 und den nächst kleineren angegebenen für $h = 740$ zu 54. Die Differenz dieser beiden Werte 69 — 54 ist = 15. Somit ist die Differenz für

$h = 741 = 1{,}5$

und für $h = 743{,}5 = 1{,}5 . 3{,}5 = 4$

Der Korrektionswert für $h = 743{,}5$ ist somit um 4 grösser als der für $h = 740$, d. h. er ist = 54 + 4 = 58 oder mit hinreichender Genauigkeit abgerundet = 60.

Frage 329. Wie kann man mittels des Wasservoltameters durch alleinige Bestimmung des Wasserstoff-Volumens die Stromstärke messen und berechnen; welches sind die zu dieser Messung anwendbaren Voltameter, und welchen Vorteil bietet diese Art der Messung gegenüber der Messung mittels des Knallgasvoltameters?

Die Antwort ist durch ein Beispiel zu erläutern.

Erkl. 532. Bei dem in nebenstehender Antwort erwähnten Wasservoltameter von *de la Rive* ist der graduierte Messcylinder zugleich das Entwicklungsgefäss für den Wasserstoff.

Bei dem in Antwort auf Frage 278 unter 1). beschriebenen Apparat sind 2 Messcylinder verwendet, der eine für Wasserstoff, der andere für Sauerstoff. Bei dem ebendaselbst unter 2). beschriebenen Apparat muss ein separater Messcylinder angewendet werden; bei dem unter 3). beschriebenen Apparat kann man die Entwicklungsröhre direkt als Messcylinder benutzen oder auch das Gas in einen besonderen Messcylinder leiten.

Antwort. Um die Stromstärke durch alleinige Bestimmung des Wasserstoff-Volums zu messen und zu berechnen, muss das Wasservoltameter derart eingerichtet sein, dass man den abgeschiedenen Wasserstoff vom Sauerstoff getrennt auffangen kann.

Derart eingerichtete Wasservoltameter sind:

1). Das Wasservoltameter von *de la Rive* (bezügl. dessen Einrichtung und Gebrauch siehe Antwort auf Frage 162);

2). die Wasserzersetzungsapparate, in welchen die Gase getrennt aufgefangen werden [siehe Antwort auf Frage 278 unter 1). bis 3)].

Um diese Art der Messung der Stromstärke mit einem der erwähnten Apparate auszuführen, fange man den Wasserstoff allein in einem graduierten Messcylinder auf (siehe Erkl. 532). Das beobachtete, im Messcylinder gemessene Volumen Wasserstoff wird nun zunächst durch Multiplikation mit $\frac{3}{2}$ auf Knallgas umgerechnet und zwar aus folgendem Grund:

Nach Antwort auf Frage 280 ist das Volumen des von einem elektrischen Strom abgeschiedenen Wasserstoffs doppelt so gross als das Volumen des von demselben elektrischen Strom gleichzeitig abgeschiedenen Sauerstoffs.

Es besteht also das von einem elektrischen Strom abgeschiedene Knallgas (d. i. das Gemisch der beiden Gase) dem Volumen nach aus 2 Teilen Wasserstoff und 1 Teil Sauerstoff. Das Volumen des im Knallgas enthaltenen Wasserstoffs ist demnach $^2/_3$ des Volumens des Knallgases. Multipliziert man also das Volumen des getrennt abgeschiedenen Wasserstoffs mit $\frac{3}{2}$, so erhält man dasjenige Volumen an Knallgas, welches man erhalten hätte, wenn man statt des Wasserstoffs allein das Knallgas aufgefangen hätte.

Nachdem nun das Knallgasvolumen V_t berechnet ist, verfahre man genau nach den in Antwort auf Frage 327 unter b). bis e). gegebenen Vorschriften.

Diese Methode der alleinigen Messung des Wasserstoffs wird deshalb angewendet, weil durch die in der Antwort auf Frage 284 erwähnte Bildung von Ozon das Volumen des Sauerstoffs etwas vermindert wird, wodurch das Knallgasvolumen etwas zu klein erhalten wird. Der infolgedessen entstehende, allerdings unter gewöhnlichen Verhältnissen nur sehr geringe Fehler wird durch obige Methode vermieden.

Diese Messmethode kann man durch folgendes Beispiel (siehe Erkl. 533) erläutern:

Angenommen:

Die Dauer der Wirkung des zu messenden elektrischen Stroms sei $n = 10$ Minuten;

das im Messcylinder erhaltene Volumen Wasserstoff sei = 18 Kubikcentimeter;

der Barometerstand b_t sei = 750 Millimeter;

die Temperatur t sei = 20° Celsius;

das spezifische Gewicht s der Absperrschwefelsäure sei = 1,14;

die Höhe H der Flüssigkeitssäule im Messcylinder sei = 60 Millimeter.

Erkl. 533. Das in nebenstehender Antwort gegebene Beispiel kann, da Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht = 1,14 verwendet wird, nach *Kohlrauschs* Methode (siehe Antwort auf Frage 328) berechnet werden wie folgt:

Nach Gleichung b). in Antw. auf Frage 328 ist:

$$h = 750 - \frac{1}{12} \cdot 60$$
$$= 745$$

Nach der Tabelle in Erkl. 530 ist für $h = 745$ und $t = 20°$ Celsius jedem Kubikcentimeter Knallgas der Korrektionswert = 0,028 hinzuzufügen (siehe Erkl. 530); somit ist nach Antwort auf Frage 328:

$$V = 27 + 0{,}028 \,.\, 27$$
$$= 27{,}8 \text{ Kubikcentimeter.}$$

Der gemessene Strom scheidet also in 10 Minuten 27,8 Kubikcentimeter Knallgas aus, also in 1 Sekunde:

$$\frac{27{,}8}{10 \,.\, 60} = 0{,}046$$

Nach Antwort auf Frage 328 ist somit die Stromstärke:

$$J = 0{,}046 \,.\, 5$$
$$= 0{,}23 \text{ Ampère.}$$

Nach der Tabelle in Erkl. 509 entspricht 1 Ampère = 10,44 Kubikcentimeter Knallgas pro Minute, somit entsprechen

$$0{,}23 \text{ Ampère} = 10{,}44 \,.\, 0{,}23$$
$$= 2{,}4 \text{ Kubikcentimeter Knall-}$$

gas pro Minute, was mit dem in nebenstehender Antwort gefundenen Resultat übereinstimmt.

Durch Multiplikation des Wasserstoffvolumens mit $\frac{3}{2}$ erhält man zunächst das Volumen V_t an Knallgas, welches der zu messende elektrische Strom in 10 Minuten abscheidet, somit ist:

$$V_t = 18 \cdot \frac{3}{2} = 27$$

Nach Gleichung 1). in Antwort auf Frage 327 ist:

$$\begin{aligned} b_0 &= 750 - 0{,}135 . 20 \\ &= 750 - 2{,}70 \\ &= 747{,}3 \end{aligned}$$

Die Spannkraft f des Dampfes der Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,14 ist nach Erkl. 522 = 0,88 von der des Wassers.

Die Spannkraft des Wasserdampfes ist bei 20° Celsius nach Erkl. 521 = 17,4, somit ist:

$$\begin{aligned} f &= 17{,}4 . 0{,}88 \\ &= 15{,}3 \end{aligned}$$

somit ist nach Gleichung 2). in Antwort auf Frage 327:

$$\begin{aligned} h &= 747{,}3 - \frac{60 . 1{,}14}{13{,}6} - 15{,}3 \\ &= 747{,}3 - 5{,}0 - 15{,}3 \\ &= 727{,}0 \end{aligned}$$

Nach Gleichung 3). in Antwort auf Frage 327 ist nunmehr:

$$V_0 = \frac{27}{1 + 0{,}00367 . 20} \cdot \frac{727}{760}$$

$$V_0 = \frac{27 . 727}{1{,}0734 . 760} \quad \text{(siehe Erkl. 534)}$$

$$V_0 = 24{,}06 \text{ Kubikcentimeter.}$$

Der gemessene Strom scheidet in 10 Minuten 24,06 Kubikcentimeter aus, somit in 1 Minute 2,4 Kubikcentimeter; die Stromstärke ist sonach = 2,4 Knallgaseinheiten pro Minute.

Erkl. 534. Hülfsrechnung zu der in nebenstehender Antwort gegebenen Gleichung des Wertes V_0:

$$\begin{aligned} \log 27 &= 1{,}43136 \qquad & \log 1{,}0734 &= 0{,}03076 \\ \log 727 &= 2{,}86153 & \log 760 &= 2{,}88081 \\ &\overline{\;\;4{,}29289} & &= \overline{2{,}91157} \end{aligned}$$

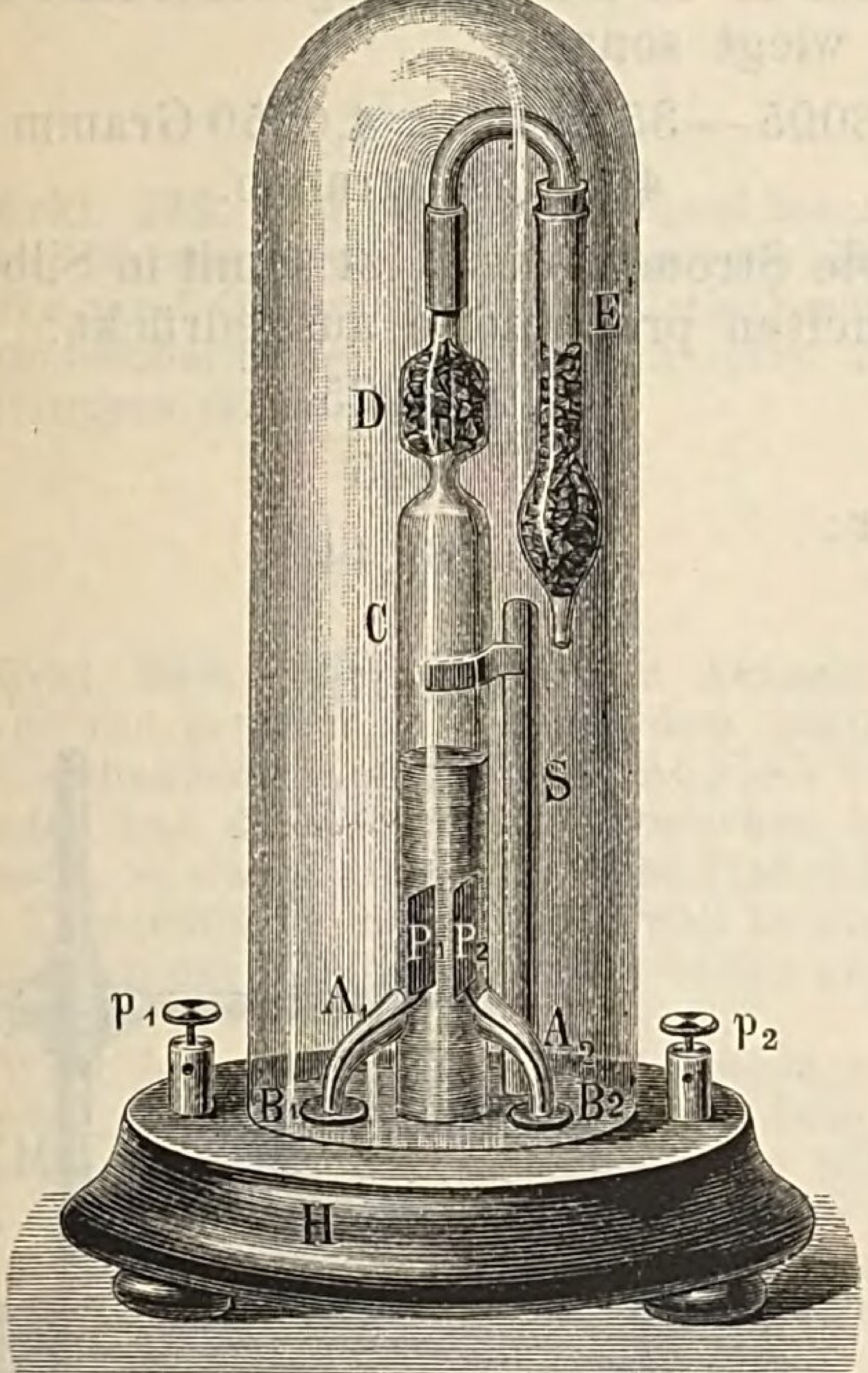
$$\begin{aligned} &4{,}29289 \\ &-2{,}91157 \\ \text{numlog } &\overline{1{,}38132} = 24{,}06 \end{aligned}$$

Frage 330. Wie kann man die Stromstärke mittels des Wasservoltameters durch Bestimmung des Gewichts des durch den elektrischen Strom zersetzten Wassers messen?

Die gegebene Antwort ist durch ein Beispiel zu erläutern.

Antwort. Um die Stromstärke durch Bestimmung des Gewichts des durch den elektrischen Strom zersetzten Wassers zu messen, wende man das Wasservoltameter von Ledingham an und verfahre dabei nach der in Antwort

Figur 176.



auf Frage 163 gegebenen Vorschrift. Man erhält hierbei die Stromstärke in Wassereinheiten (s. Antw. auf Frage 325).

Diese Methode der Messung der Stromstärke kann man durch folgendes Beispiel erläutern:

Das Wasservoltameter, siehe Fig. 176, war in dem Stromkreis eingeschaltet und der Strom so lange geschlossen, bis alle atmosphärische Luft aus dem Glaskörper CDE durch Wasserstoff verdrängt war.

Der Glaskörper CDE wurde nun auf einer analytischen Wage gewogen und hatte ein Gewicht von 53,1865 Gramm.

Dann wurde der Glaskörper wieder nach Vorschrift eingesetzt und der Strom genau 150 Sekunden lang mittels eines Stromschlüssels geschlossen.

Der Glaskörper wurde wiederum gewogen. Sein Gewicht war nunmehr 52,9315 Gramm.

Somit hatte der gemessene elektrische Strom in 150 Sekunden 53,1865 — 52,9315 = 0,2550 Gramm Wasser zersetzt.

Zur Berechnung der Wassermenge, welche durch denselben Strom in 1 Minute zersetzt wird, besteht folgende Proportion:

$$150 : 60 = 0{,}255 : x$$
$$x = 0{,}102 \text{ Gramm},$$
$$x = 102 \text{ Milligramm}.$$

Die gemessene Stromstärke ist also = 102 Wassereinheiten pro Minute.

Frage 331. Wie kann man die Stromstärke mittels des **Silbervoltameters** messen?

Die gegebene Antwort ist durch ein Beispiel zu erläutern.

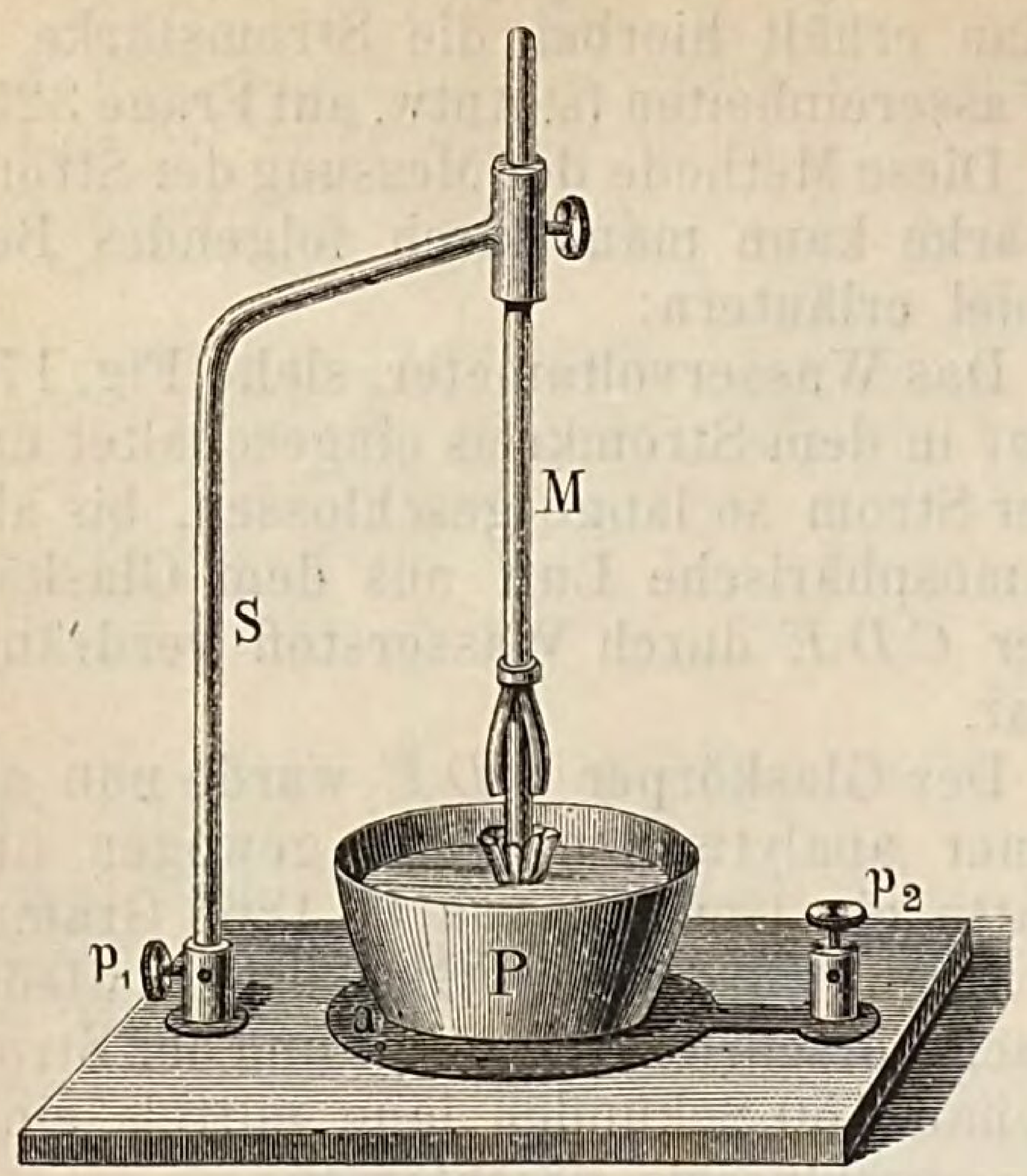
Erkl. 535. Bei der in nebenstehender Antwort erwähnten Messung wendet man 8 bis 10 prozentige Lösung von salpetersaurem Silber an.

Antwort. Um die Stromstärke mittels des Silbervoltameters, siehe die Figuren 177 und 178, zu messen, verfährt man nach der in Antwort auf Frage 165 gegebenen Vorschrift (siehe Erkl. 535).

Diese Messung kann man durch folgendes Beispiel erläutern:

Der sorgfältigst gereinigte, schwach geglühte und wieder erkaltete Platintiegel P, siehe die Figur 177 oder 178, wog 35,2845 Gramm. Nachdem der zu messende elektrische Strom genau 45 Minuten auf die Silberlösung des Volta-

Figur 177.



meters gewirkt hatte, wurde der Platintiegel vorsichtig mit destilliertem Wasser ausgewaschen und schwach geglüht. Derselbe wog nach dem Erkalten 39,3095 Gramm.

Das von dem gemessenen elektrischen Strom in 45 Minuten abgeschiedene Silber wiegt sonach:

$$39{,}3095 - 35{,}2845 = 4{,}0250 \text{ Gramm} = 4025 \text{ Milligramm.}$$

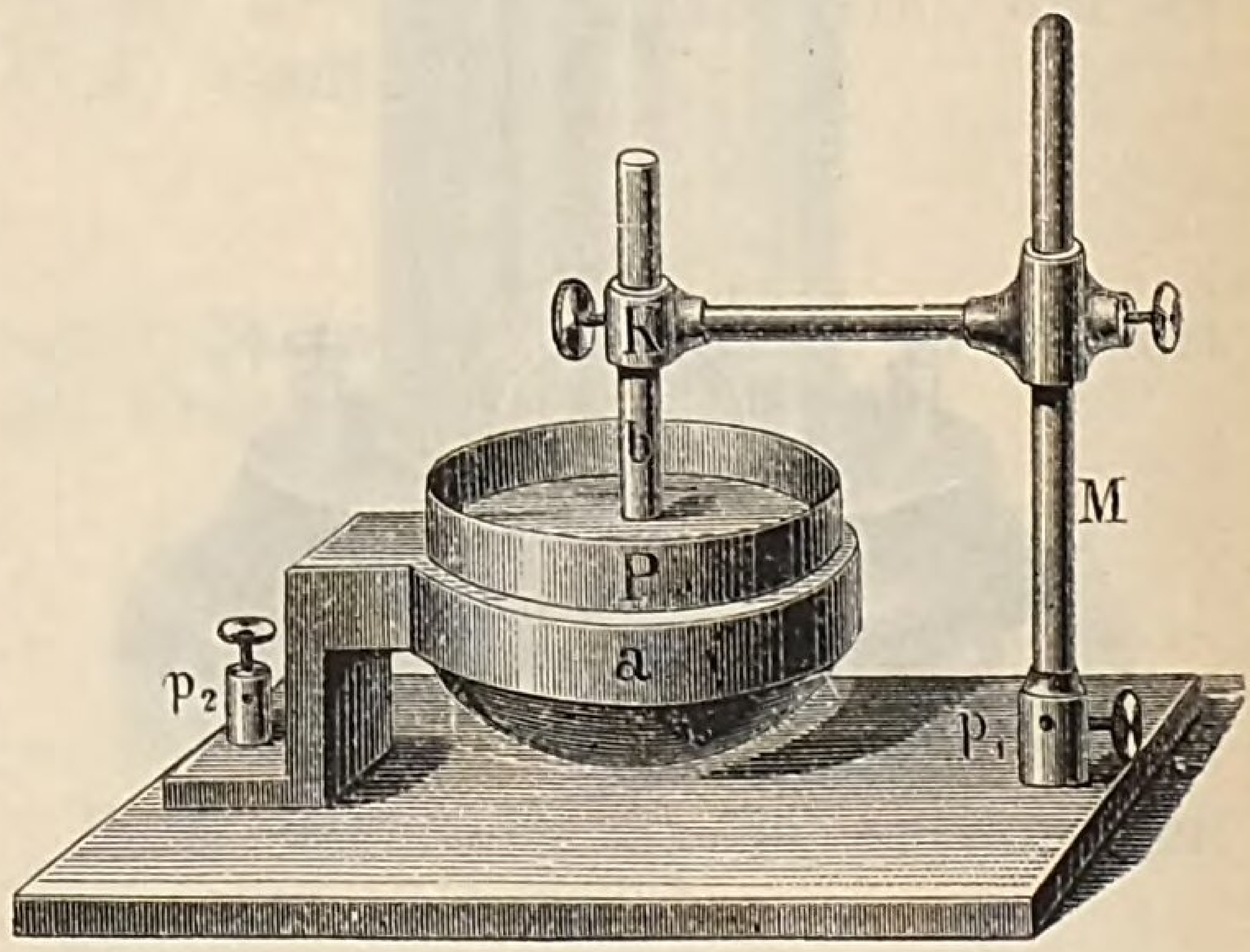
Die Stromstärke J ist somit in Silbereinheiten pro Minute ausgedrückt:

$$J = \frac{4025}{45}$$

oder:

$$J = 89{,}44$$

Figur 178.



Erkl. 536. Die in nebenstehender Antwort erwähnte Messung der Stromstärke mittels des Silbervoltameters ergibt nur dann sichere Resultate, wenn die Stromstärke des zu messenden elektrischen Stroms pro Quadratdecimeter Niederschlagsfläche des Platingefässes nicht stärker als $^1/_2$ Ampère ist (siehe die Tabelle in Erkl. 510).

Frage 332. Wie kann man die Stromstärke mittels des Kupfervoltameters messen?

Die gegebene Antwort ist durch ein Beispiel zu erläutern.

Antwort. Zur Messung der Stromstärke mittels des Kupfervoltameters (siehe Erkl. 537) füllt man das Glasgefäss desselben mit einer Lösung von eisenfreiem schwefelsaurem Kupfer, welche durch Mischung von 3 Teilen konzentrierter Lösung mit 2 Teilen Wasser hergestellt ist.

Die Platinplatte des Voltameters wird nach *Kittler* vorerst mit kochender verdünnter Salpetersäure behandelt, mit destilliertem Wasser abgespült, mit Filtrierpapier abgetrocknet und durch eine nichtleuchtende Flamme, z. B. eine Spiritusflamme oder diejenige eines Bunsenschen Gasbrenners gezogen. Nach dem Erkalten wird sie gewogen und alsdann in

Erkl. 537. Betreffs des Kupfervoltameters siehe Antwort auf Frage 166.

Erkl. 538. Bei den nebenstehend beschriebenen Operationen mit der Platinplatte des Kupfervoltameters darf dieselbe nicht mit den Fingern berührt werden.

Erkl. 539. Bei der nebenstehend beschriebenen Messung soll die zu messende Stromstärke pro 1 Quadratdecimeter Platinoberfläche (Katodenoberfläche) 2,5 bis 3 Ampère nicht übersteigen (siehe Erkl. 540).

Erkl. 540. Werden, wie in Antwort auf Frage 166 erwähnt, zwei mit dem positiven Pol verbundene Kupferbleche (Anoden) angewendet und die Platinkatode zwischen beide gestellt, so sind beide Seiten des Platinblechs als Katodenfläche zu rechnen, weil in diesem Falle sich das Kupfer auf beiden Seiten niederschlägt.

Wird jedoch nur eine Kupferanode angewendet, so schlägt sich das Kupfer blos auf der dieser Anode zugewendeten Seite nieder. Als Katodenfläche ist alsdann nur diese eine Seite des Platinblechs zur Berechnung der zulässigen Stromstärke zu rechnen (siehe vorige Erklärung).

das Voltameter-Gefäss eingesetzt (siehe Erkl. 538).

Nachdem der elektrische Strom eine genau gemessene Zeit gewirkt hat, unterbricht man den Strom durch rasches Herausnehmen der Platinplatte, trocknet dieselbe mit Fliesspapier, lässt sie einige Stunden an einem vor Staub geschützten, trockenen abgeschlossenen Platz liegen (am besten in dem Wagekasten) und wägt sie alsdann. Die Zunahme des Gewichts ergibt das Gewicht des durch den gemessenen Strom in der angewendeten Zeit niedergeschlagenen Kupfers (siehe Erkl. 539).

Diese Messung kann man durch folgendes Beispiel erläutern:

Angenommen, die nach obiger Vorschrift gereinigte und trockene Platinplatte wog vor der Messung 65,8375 Gramm, die Stromdauer war genau 30 Minuten und die Platinplatte wog alsdann 67,1665 Gramm. Es wurde sonach durch den gemessenen Strom in 30 Minuten 67,1665 — 65,8375 = 1,3290 Gramm = 1329 Milligramm Kupfer niedergeschlagen.

Somit ist die gemessene Stromstärke:

$$J = \frac{1329}{30}$$

oder:

$$J = 44{,}3 \text{ Kupfereinheiten}$$

pro Minute.

B). Ueber die Messung der Stromstärke mittels der Tangentenbussole.

Frage 333. Auf welchem Satz beruht die Einrichtung der Tangentenbussole und die Messung der Stromstärke mittels derselben?

Antwort. Die Einrichtung der Tangentenbussole und die Messung der Stromstärke mittels derselben beruht auf dem Satz:

„Befindet sich ein kreisförmiger Leiter in der Vertikalebene der durch die alleinige Wirkung des Erdmagnetismus bedingten Ruhelage einer in dessen Mittelpunkt angebrachten horizontal frei schwebenden, im Vergleich zum Durchmesser des kreisförmigen Leiters sehr kleinen Magnetnadel und durch-

fliesst ein elektrischer Strom diesen kreisförmigen Leiter, so wird diese Magnetnadel aus ihrer durch den Erdmagnetismus bedingten Ruhelage um einen solchen Winkel abgelenkt, dessen trigonometrische Tangens proportional der Stromstärke des den kreisförmigen Leiter durchfliessenden Stroms ist“ (siehe die Erkl. 231 und 541).

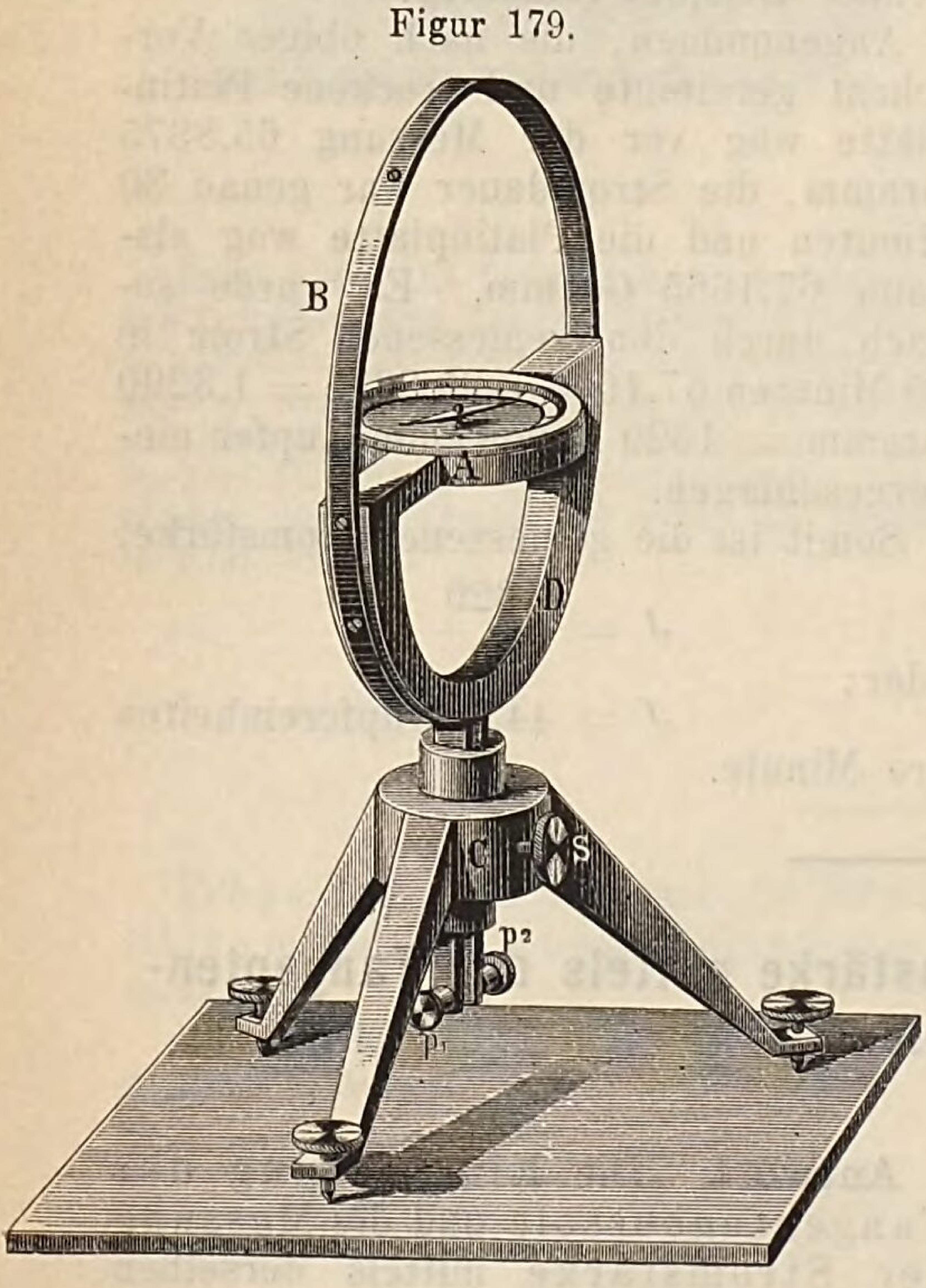
Erkl. 541. Von dem in nebenstehender Antwort definierten Satz hat die Tangentenbussole ihren Namen erhalten.

Frage 334. Wie kann man den in voriger Antwort definierten Satz beweisen?

Antwort. Den in voriger Antwort definierten Satz kann man beweisen wie folgt:

Ist, siehe Figur 180, B der von oben gesehene Stromleitungsring der in Figur 179 dargestellten und in Antwort auf Frage 169 beschriebenen Tangentenbussole, und befindet sich dieser Stromleitungsring mit der durch den alleinigen Einfluss des Erdmagnetismus bedingten Ruhelage der Magnetnadel dieser Bussole in ein und derselben Vertikalebene, so dass also die Nadel in dieser Ruhelage in der Richtung SN der Vertikalebene des Rings B einsteht, und durchfliesst nun ein elektrischer Strom den Stromleitungsring B, so wird die Magnetnadel um einen Winkel α abgelenkt und nimmt die Stellung ab ein (siehe Erkl. 542).

Figur 179.



Die Grösse dieses Winkels α ist abhängig:

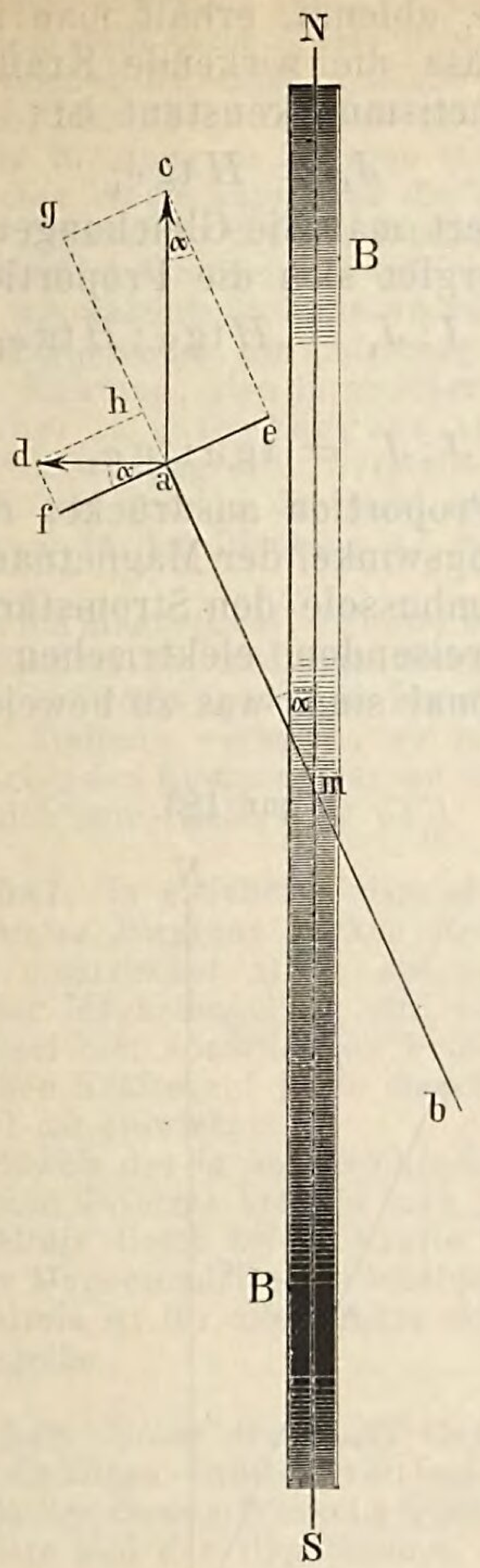
1). von der wirkenden Kraft des Erdmagnetismus, welche bestrebt ist, die Nadel in ihre ursprüngliche Ruhelage zurück zu bewegen;

2). von der wirkenden Kraft des die Nadel umkreisenden elektrischen Stroms, welcher die Nadel senkrecht zu ihrer ursprünglichen Ruhelage zu stellen strebt.

Da sich nun die Nadel unter dem gleichzeitigen Einfluss dieser beiden Kräfte in der Stellung ab in Ruhe befindet, so müssen sich diese beiden Kräfte das Gleichgewicht halten. Diese beiden Kräfte kann man sich an einem der beiden Pole der Nadel, z. B. an dem Nordpol a angreifend denken, und zwar die erdmagnetische Kraft nach dem unter

Erkl. 542. Die in Figur 180 dargestellte Magnetnadel ab ist in sehr vergrössertem Massstab gezeichnet, um die Deutlichkeit der Figur zu erhöhen (siehe Erkl. 543).

Figur 180.



Erkl. 543. Die Länge der Magnetnadel der Tangentenbussole soll höchstens $^1/_5$ des Durchmessers des Rings *B*, siehe Figur 179, betragen. Um trotz der dadurch bedingten Kleinheit der Nadel die Ablenkungswinkel auf dem Teilkreis der Bussole genau ablesen zu können, wird an derselben nach *Siemens* ein rechtwinklig zur Nadel gerichteter Zeiger aus Aluminiumblech befestigt, siehe Figur 181, dessen Spitzen *i* alsdann auf einem grösseren Teilkreis die Ablenkungswinkel genauer angeben. Der Teilkreis ist in diesem Falle so gestellt, dass der Zeiger in der Ruhelage der Nadel auf dem Nullpunkt der Kreisteilung einsteht (siehe Erkl. 544).

Erkl. 544. Der in nebenstehender Antwort bewiesene Satz wäre nur dann genau richtig, wenn die Magnetnadel nur einen Punkt darstellte, so dass die Spitzen der Nadel, auch wenn sie abgelenkt wäre, nicht aus der Ebene

1). Gesagten in der Richtung ac parallel SN, und die wirkende Kraft des elektrischen Stroms nach dem unter 2). Gesagten in der Richtung ad senkrecht zu SN. Jede dieser beiden Kräfte, deren Intensitäten bezw. durch die Länge der Strecken ac und ad dargestellt sind, kann man nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte in zwei Komponenten zerlegt denken, von welchen die eine ag bezw. ah je in die Richtung der Nadel ab fällt, die andere ae bezw. af je senkrecht zur Richtung der Nadel ab steht (siehe Erkl. 545). Da die in die Richtung der Nadel entfallenden Komponenten ag bezw. ah keinen Einfluss auf die Lage der Nadel ausüben (siehe Erkl. 546), so können nur die zur Richtung der Nadel senkrechten Komponenten ae bezw. af in Betracht kommen, und diese müssen nach Vorstehendem einander gleich sein.

Da nun nach Erkl. 548:

a). $\frac{\overline{ae}}{\overline{ac}} = \sin\alpha$

und nach Erkl. 549:

b). $\frac{\overline{af}}{\overline{ad}} = \cos\alpha$ ist (s. Erkl. 550),

aus welchen beiden Gleichungen sich ergibt:

c). $\overline{ae} = \overline{ac} : \sin\alpha$

und

d). $\overline{af} = \overline{ad} : \cos\alpha$

so erhält man, da nach Vorstehendem:

e). $\overline{ae} = \overline{af}$ ist,

aus den Gleichungen c). und d).:

f). $\overline{ad}\cos\alpha = \overline{ae}\sin\alpha$

oder:

g). $\overline{ad} = \overline{ac}\cdot\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$

das ist nach Erkl. 551:

h). $\overline{ad} = \overline{ac}\,\mathrm{tg}\,\alpha$

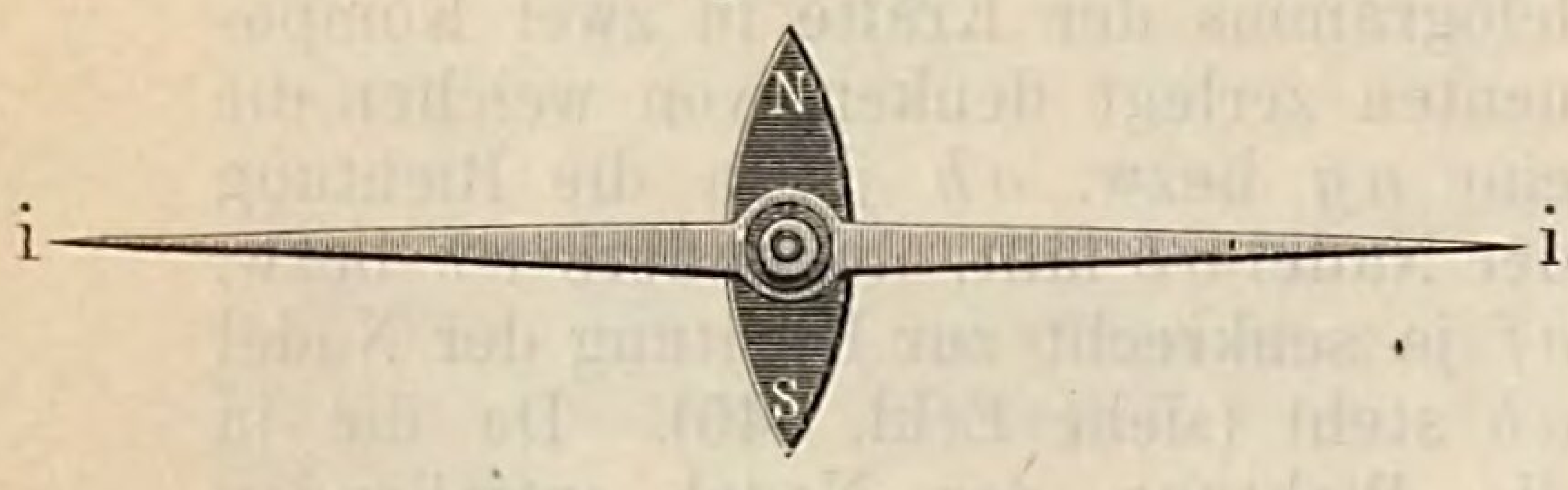
und wenn man $\overline{ad} = J$, $\overline{ae} = H$ setzt:

i). $J = H\,\mathrm{tg}\,\alpha$

Für einen andern elektrischen Strom, dessen wirkende Kraft $= J_1$ die Mag-

des Rings B, siehe Figur 180, heraustreten würden, weil die Wirkung des den Ring durchfliessenden elektrischen Stroms auf die Nadel abnimmt, wenn diese Nadel aus der Ebene des Rings heraustritt. Der erwähnte Satz ist jedoch noch sehr annähernd richtig, wenn die Länge der Magnetnadel höchstens $^1/_5$ von dem Durchmesser des Rings B, siehe Figur 179, ist.

Figur 181.

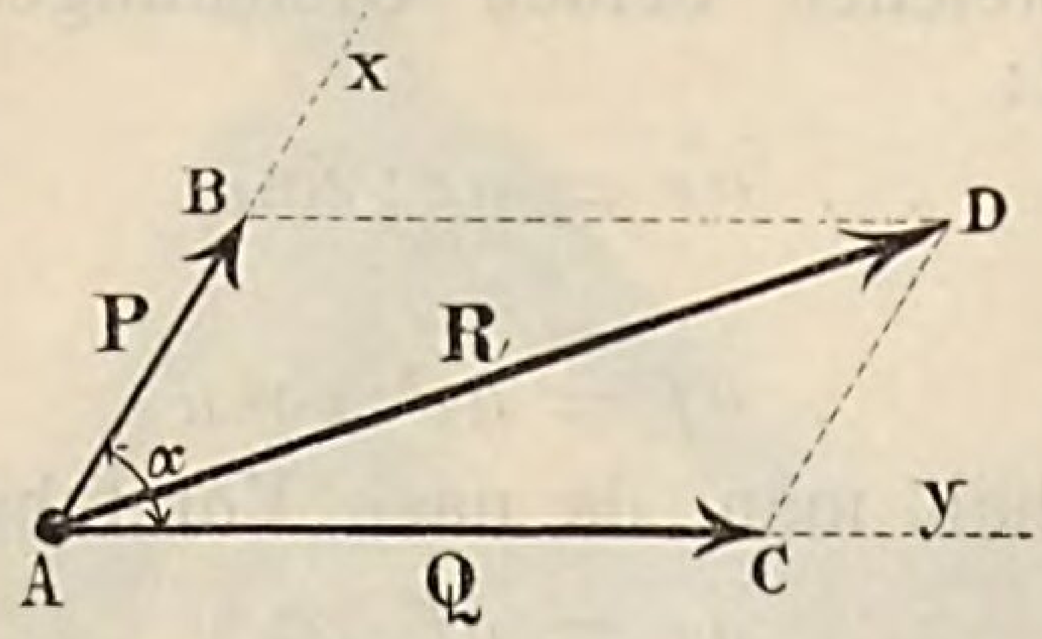


Erkl. 545. Ein Lehrsatz aus der Mechanik heisst:

„Wirken zwei Kräfte P und Q, siehe Figur 182, deren Richtungen und Intensitäten bezw. durch die Strecken AB und AC dargestellt sind, unter einem beliebigen Winkel α auf einen beweglichen materiellen Punkt A, so ist die **Resultante** R dieser Kräfte, sowohl ihrer Richtung als Grösse nach, gleich der Diagonale AD des über den Kräften P und Q, bezw. über den Strecken AB und AC konstruierten Parallelogramms $ABCD$.“

Ein solches Parallelogramm wird ein Parallelogramm der Kräfte, die beiden Kräfte P und Q die Komponenten genannt (siehe Erkl. 546).

Figur 182.



Erkl. 546. Wirkt eine ihrer Intensität und Richtung nach gegebene Kraft R auf einen materiellen Punkt a, so kann man nach voriger Erklärung diese Kraft R durch Komponenten ersetzen, deren Richtungen und Strecken durch die Grösse des Winkels α bedingt sind, welchen sie miteinander und mit der gegebenen Kraft R bilden.

Zerlegt man dementsprechend die erdmagnetische Richtkraft ac, siehe Figur 183, in zwei Komponenten, von welchen die eine ag in die Richtung der Magnetnadel ba, die andere ae senkrecht zur Richtung der Magnetnadel an dem Endpunkt a der Magnetnadel angreift, so wird die Komponente ag keine Wirkung auf den Punkt a ausüben können,

netnadel dieser Tangentenbussole um den Winkel α_1 ablenkt, erhält man in Rücksicht, dass die wirkende Kraft H des Erdmagnetismus konstant ist:

k). $J_1 = H \operatorname{tg} \alpha_1$

Dividiert man die Gleichungen i). und k)., so ergibt sich die Proportion:

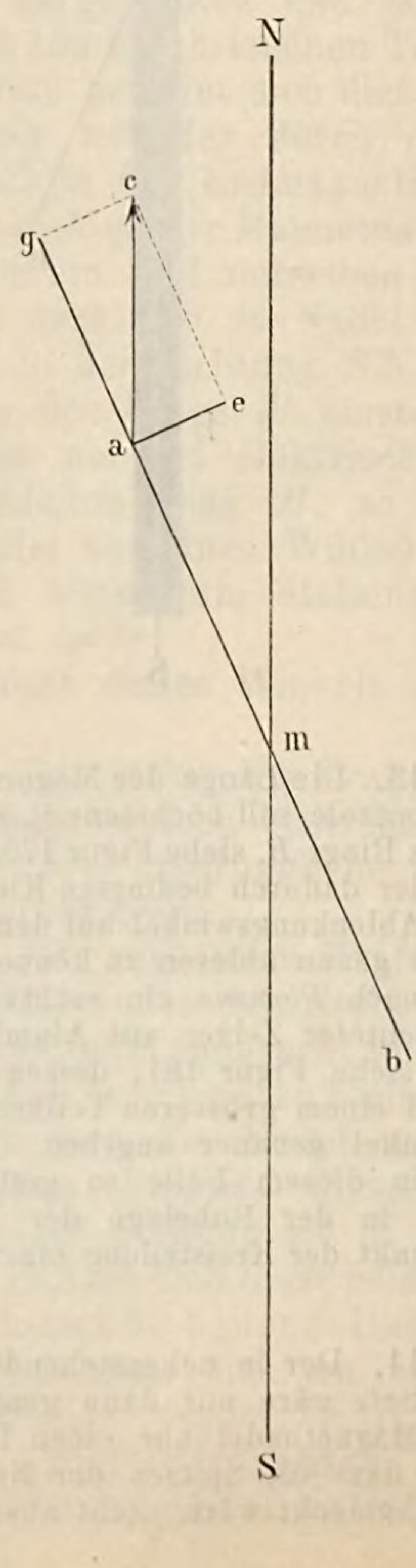
l). . . $J : J_1 = H \operatorname{tg} \alpha : H \operatorname{tg} \alpha_1$

oder:

m). . . $J : J_1 = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} \alpha_1$

welche Proportion ausdrückt, dass die Ablenkungswinkel der Magnetnadel einer Tangentenbussole den Stromstärken der sie umkreisenden elektrischen Ströme proportional sind, was zu beweisen war.

Figur 183.



weil der Punkt a in der Richtung dieser Komponente nicht beweglich ist. Die Komponente ae hingegen stellt ihrer Grösse nach die Kraft dar, mit welcher die erdmagnetische Richtkraft den in der Richtung ae frei beweglichen Punkt a in dieser Richtung zu bewegen strebt.

In gleicher Weise kann man die Richtkraft ad, siehe Figur 180, des die Bussole umkreisenden elektrischen Stroms in zwei Komponenten zerlegen, von welchen die eine ah in der Richtung der Magnetnadel, die andere af senkrecht zu dieser Richtung, also in gleicher Richtung wie ae, aber in entgegengesetztem Sinn an dem Punkt a angreift. af stellt somit die Kraft dar, mit welcher der elektrische Strom den Punkt a in der Richtung af zu bewegen strebt.

Da nun die Magnetnadel ab unter dem gleichzeitigen Einfluss des Erdmagnetismus und des elektrischen Stroms in der in Figur 180 dargestellten Stellung verharrt, so müssen die beiden wirkenden Komponenten ae und af einander gleich sein (siehe Erkl. 547).

Erkl. 547. In gleicher Weise, aber in entgegengesetzter Richtung wirken Erdmagnetismus und elektrischer Strom auf das andere Ende b der Magnetnadel ab ein, siehe Figur 184. Es sei hier ausdrücklich bemerkt, dass diese beiden Kräfte auf jeden einzelnen Punkt der Nadel ab einwirken.

Zum Beweis des in nebenstehender Antwort angegebenen Gesetzes braucht man jedoch nur das Verhältnis dieser beiden Kräfte für einen Punkt der Magnetnadel ab zu bestimmen. Dieses Verhältnis ist für alle Punkte der Magnetnadel dasselbe.

Erkl. 548. Unter dem Sinus eines Winkels im rechtwinkligen Dreieck versteht man das Verhältnis der diesem Winkel gegenüberliegenden Kathete und der Hypothenuse.

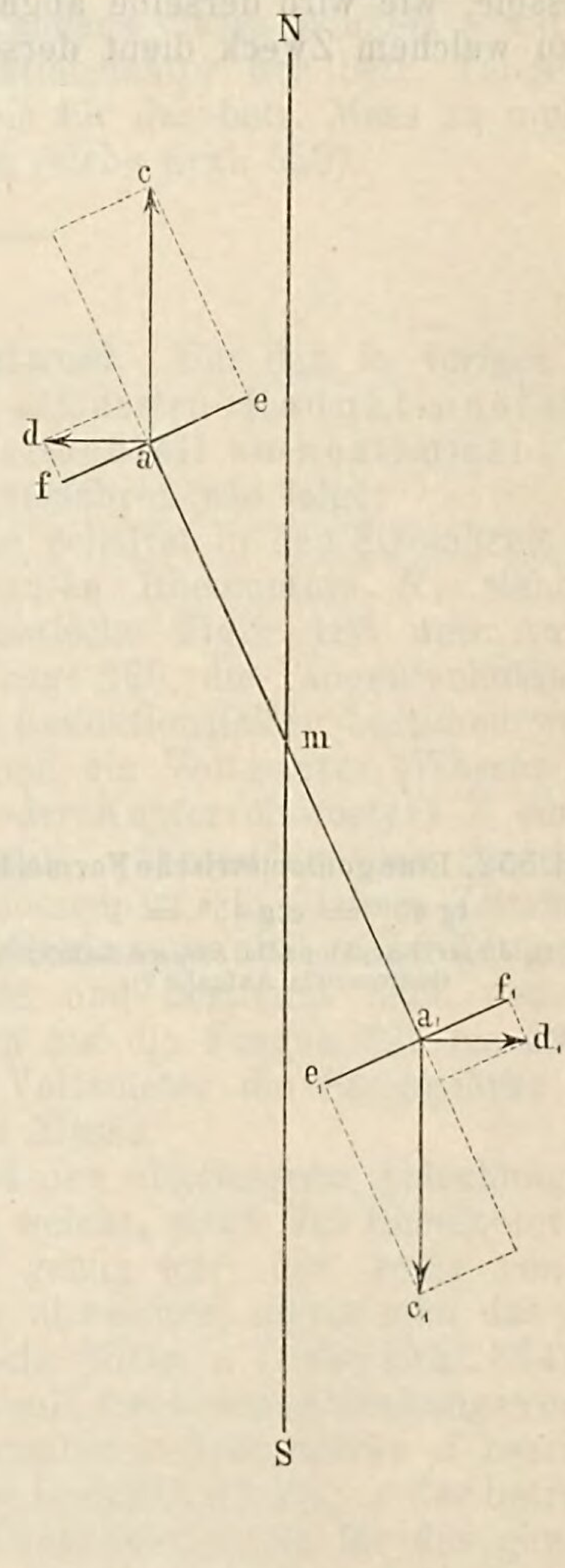
Erkl. 549. Unter dem Kosinus eines Winkels im rechtwinkligen Dreieck versteht man das Verhältnis der diesem Winkel anliegenden Kathete und der Hypothenuse.

Erkl. 550. Ein planimetrischer Lehrsatz heisst:

„Stehen die Schenkel eines Winkels senkrecht auf den Schenkeln eines andern Winkels, so sind diese beiden Winkel einander gleich“ (siehe *Kleyers* Lehrbücher der Planimetrie).

Nach diesem Satz ergibt sich aus der Figur 180, dass der von den Linien Nm und am gebildete Winkel gleich ist dem von den Linien da und fa gebildeten Winkel, und dass der von den Linien ac und ec gebildete Winkel gleich ist dem von den Linien da und fa gebildeten Winkel, wie in der Figur durch die übereinstimmende Bezeichnung dieser drei Winkel mit α angedeutet ist.

Figur 184.



Frage 335. Was versteht man unter dem Reduktionsfaktor einer Tangentenbussole, wie wird derselbe abgeleitet und zu welchem Zweck dient derselbe?

Antwort. Nimmt man die Stromstärke, welche an einer Tangentenbussole den Ablenkungswinkel von 45° hervorruft, = 1 an, und drückt dann diese Einheit in irgend einem Masse aus, so bezeichnet man das Resultat als den Reduktionsfaktor dieser Tangentenbussole für das gewählte Mass. Man kann daher auch sagen:

Der Reduktionsfaktor einer Tangentenbussole für ein bestimmtes Mass der Stromstärke ist die in dieses Mass ausgedrückte Grösse der Stromstärke, welche an dieser Tangentenbussole den Ablenkungswinkel von 45° hervorruft.

Den Reduktionsfaktor kann man wie folgt ableiten:

Ist α der Ablenkungswinkel, welchen eine in einem bestimmten Masse gemessene Stromstärke an einer bestimmten Tangentenbussole hervorruft, und x der Reduktionsfaktor, d. h. die Stromstärke in demselben Masse, welche an derselben Tangentenbussole den Ablenkungswinkel von 45° hervorruft, so besteht nach voriger Antwort die Proportion:

a). . . . $\operatorname{tg}\alpha : \operatorname{tg}45^0 = J : x$

Daraus ergibt sich nach Erkl. 552:

b). $x = \frac{J}{\operatorname{tg}\alpha}$

In gleicher Weise erhält man für eine Stromstärke J_1, welche an derselben Tangentenbussole den Ablenkungswinkel α_1 hervorruft:

c). . . . $\operatorname{tg}\alpha_1 : \operatorname{tg}45^0 = J_1 : x$

woraus folgt:

$$x = \frac{J_1}{\operatorname{tg}\alpha_1}$$

Mittels dieses Reduktionsfaktors kann man eine Stromstärke J, welche an der betreffenden Tangentenbussole den Ablenkungswinkel α hervorbrachte, berech-

Erkl. 551. Eine goniometrische Formel lautet:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$$

(siehe in dieser Encyklopädie *Kleyers* Lehrbuch der Goniometrie Formel 7).

Erkl. 552. Eine goniometrische Formel heisst:

$$\operatorname{tg}45^0 = \operatorname{ctg}45^0 = 1$$

(siehe in dieser Encyklopädie *Kleyers* Lehrbuch der Goniometrie Aufgabe 9).

nen. Aus Gleichung b). ergibt sich nämlich:

d). $J = x \, . \, \mathrm{tg}\,\alpha$

Ist somit der Ablenkungswinkel, den eine Stromstärke J an einer Tangentenbussole hervorruft, gegeben bezw. gemessen, so hat man, um die Stromstärke J in einem Mass zu erhalten, die Tangens dieses Winkels α mit dem Reduktionsfaktor der betr. Tangentenbussole für das betr. Mass zu multiplizieren (siehe Erkl. 553).

Erkl. 553. Betreffs des Reduktionsfaktors gelten nach nebenstehender Antwort folgende Sätze:

1). Ein bestimmter Reduktionsfaktor ist nur für eine bestimmte Tangentenbussole gültig;

2). derselbe ist nur für einen bestimmten Ort der Erde gültig (siehe Antwort auf Frage 171 und Erkl. 243);

3). derselbe ist nur für ein bestimmtes Mass der Stromstärke gültig.

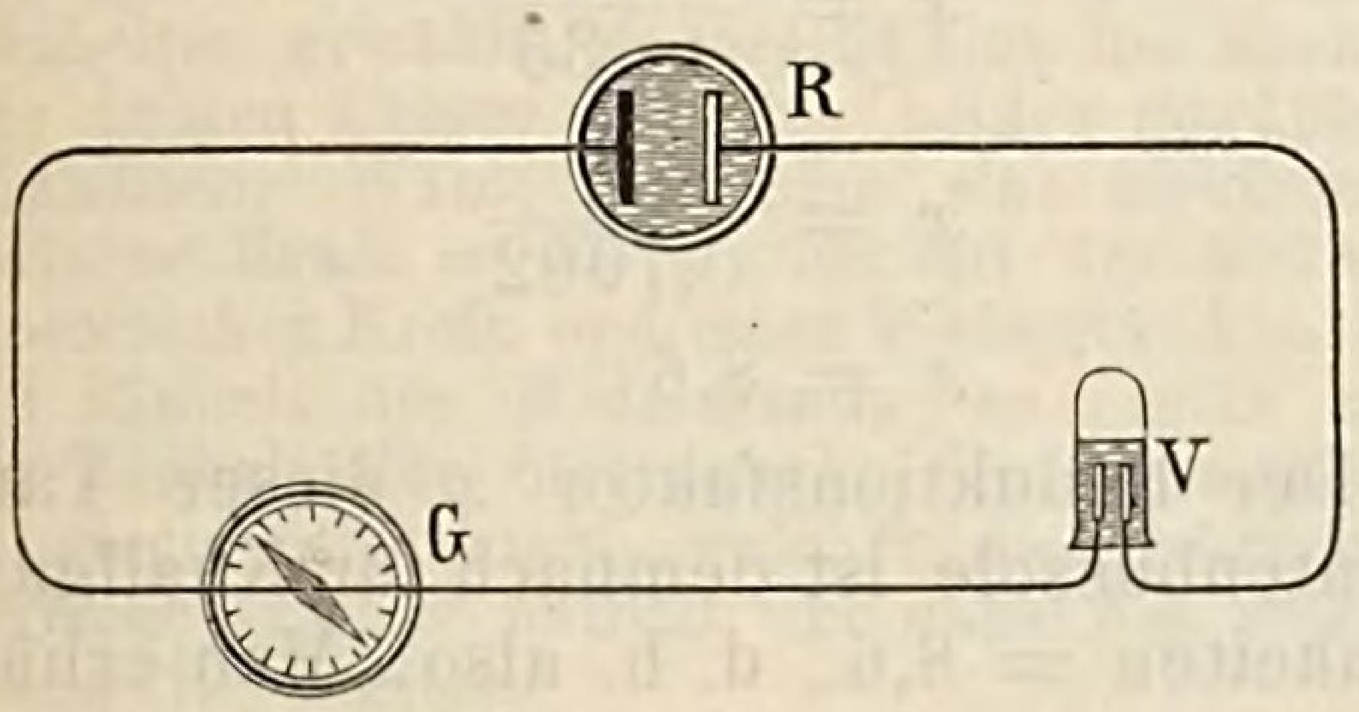
Frage 336. Wie kann man den Reduktionsfaktor experimentell bestimmen?

Die Antwort ist durch ein Beispiel zu erläutern.

Antwort. Um den in voriger Antwort definierten Reduktionsfaktor experimentell zu bestimmen, kann man verfahren wie folgt:

Man schaltet in den Stromkreis eines konstanten Rheomotors R, siehe die schematische Figur 185 und Antwort auf Frage 229, die Tangentenbussole G, deren Reduktionsfaktor bestimmt werden soll, und ein Voltameter (Wasser-, Silber- oder Kupfervoltameter) V ein, beobachtet, währenddem der Stromkreis geschlossen ist, in kleinen Zeiträumen den Ablenkungswinkel an der Tangentenbussole und bestimmt nach den Antworten auf die Fragen 327 bis 332 an dem Voltameter die Stromstärke J in einem Masse.

Figur 185.



Aus den abgelesenen Ablenkungswinkeln, welche, wenn der Rheomotor konstant genug war, nur wenig von einander abweichen, nimmt man das arithmetische Mittel α (siehe Erkl. 554) und hat somit die diesem Ablenkungswinkel α entsprechende Stromstärke J bestimmt.

Erkl. 554. Das arithmetische Mittel einer Reihe von gleichartigen Grössen ist die Summe dieser Grössen dividiert durch die Anzahl derselben.

Beispiel. Das arithmetische Mittel m der Zahlen 2, 3, 6, 8 ist

$$m = \frac{2 + 3 + 6 + 8}{4}$$

$$m = 4^3/_4$$

Der Reduktionsfaktor x der betreffenden Tangentenbussole für das gewählte Mass der Stromstärke wird nun durch Einsetzen der beiden experimentell bestimmten Grössen J und α in die in voriger Antwort abgeleitete Gleichung:

a). $x = \dfrac{J}{\mathrm{tg}\,\alpha}$

bestimmt.

Diese Methode der Bestimmung des

Reduktionsfaktors kann man durch folgendes Beispiel erläutern:

Angenommen, es wurde eine Tangentenbussole G, siehe die schematische Figur 185, gleichzeitig mit dem Knallgasvoltameter V in den Stromkreis des konstanten Rheomotors R eingeschaltet und der Strom während 4 Minuten geschlossen. Der Ablenkungswinkel wurde alle 20 Sekunden abgelesen und betrug im Durchschnitt 35°, während die Abweichungen von diesem Durchschnitt höchstens $^1/_2$° betrugen. Die Menge des im Voltameter abgeschiedenen Knallgases wurde nach Antwort auf Frage 327 in diesen 4 Minuten zu 24 Kubikcentimeter berechnet. Die Stromstärke war sonach:

$$J = \frac{24}{4} = 6 \text{ Knallgaseinheiten.}$$

Nach Gleichung a). ist:

$$\operatorname{tg} 35 : \operatorname{tg} 45 = 6 : x$$

Daraus folgt:

$$x = \frac{6}{\operatorname{tg} 35}$$

$$x = \frac{6}{0{,}7002}$$

$$x = 8{,}6$$

Der Reduktionsfaktor x dieser Tangentenbussole ist demnach für Knallgaseinheiten = 8,6, d. h. also: Man erhält die Stromstärke J, welche an dieser Tangentenbussole einen Ablenkungswinkel α hervorruft, in Knallgaseinheiten, wenn man die trigonometrische Tangens des Winkels α mit 8,6 multipliziert (siehe Erkl. 555).

Erkl. 555. Um den Reduktionsfaktor möglichst genau zu erhalten, bestimmt man die Ablenkungswinkel verschiedener Stromstärken, berechnet aus den verschiedenen zusammengehörigen Ablenkungswinkeln und Stromstärken den Reduktionsfaktor und berechnet aus den so erhaltenen — bei sorgfältiger Ausführung der Messung nur wenig von einander abweichenden — Werten des Reduktionsfaktors nach Erkl. 554 das arithmetische Mittel desselben.

3). Ueber das Ohmsche Gesetz.

Frage 337. Welche Beziehungen bestehen zwischen der e l e k t r o m o t o r i s c h e n Kraft, dem W i d e r s t a n d und der S t r o m s t ä r k e im Stromkreis eines Rheomotors, und wie heisst das Gesetz, durch welches diese Beziehungen ausgedrückt werden?

Antwort. Zwischen der elektromotorischen Kraft, dem Widerstand und der Stromstärke im Stromkreis eines Rheomotors bestehen folgende Beziehungen:

1). D i e S t r o m s t ä r k e n i n z w e i S t r o m k r e i s e n m i t g l e i c h e r e l e k-

tromotorischer Kraft sind den in diesen Stromkreisen vorhandenen Widerständen umgekehrt proportional und

2). Die Stromstärken in zwei Stromkreisen von gleichem Widerstande sind den in diesen Stromkreisen wirkenden elektromotorischen Kräften direkt proportional.

Bezeichnet man die Stromstärke eines Stromkreises mit J, die elektromotorische Kraft desselben mit E, den Widerstand desselben mit W, und bezeichnet man mit i die Stromstärke eines zweiten Stromkreises, dessen elektromotorische Kraft gleich der des ersten Stromkreises, also gleich E ist, und mit W_1 den Widerstand dieses zweiten Stromkreises, so besteht nach dem unter 1). Gesagten die Proportion:

a). $J : i = W_1 : W$

Bezeichnet man ferner mit J_1 die Stromstärke eines dritten Stromkreises, dessen Widerstand gleich dem des zweiten Stromkreises, also gleich W_1 ist, und mit E_1 die elektromotorische Kraft dieses dritten Stromkreises, so besteht nach dem unter 2). Gesagten die Proportion:

b). $i : J_1 = E : E_1$

Durch Multiplikation der Proportionen a). und b). erhält man:

$$J i : J_1 i = W_1 E : W E_1$$

oder:

c). . . . $J : J_1 = W_1 E : W E_1$

Nimmt man nun die Stromstärke J_1, welche der elektromotorischen Kraft $E_1 = 1$ und dem Widerstand $W_1 = 1$ entspricht, als Einheit an, so ergibt sich aus Gleichung c). die Relation:

d). $J = \frac{E}{W}$ Stromstärkeeinheiten (siehe Erkl. 556)

und die durch diese Gleichung ausgedrückte Beziehung nennt man nach dem Entdecker desselben das Ohmsche Gesetz. Dasselbe wird auch wie folgt ausgedrückt:

„Die Stromstärke in einem Strom-

Erkl. 556.* Ausführliches über die Einheiten der elektromotorischen Kraft und über die Einheiten des Widerstands findet man in späteren Abschnitten. Bezüglich der Einheiten der Stromstärke siehe die Antworten auf die Fragen 325 bis 328 und die Erkl. 509 und 510.

Hat man für 2 von den 3 Grössen, welche in dem Ohmschen Gesetz in Relation treten, Einheiten gewählt, so ergibt sich die Einheit der dritten Grösse aus den beiden gewählten Einheiten. Wählt man also eine elektromotorische Kraft $= E_1$ als Einheit der elektromotorischen Kraft, und einen Widerstand $= W_1$ als Einheit des Widerstands, so ergibt sich als Einheit der Stromstärke die Stromstärke in einem Stromkreis, welcher die elektromotorische Kraft E_1 enthält, und dabei den Widerstand W_1 besitzt.

kreis ist der Summe der in dem Stromkreis wirkenden elektromotorischen Kräfte direkt proportional und der Summe der in dem Stromkreis befindlichen Widerstände umgekehrt proportional.

Frage 338. Was versteht man unter dem wesentlichen Widerstand, was unter dem äusseren Widerstand eines Stromkreises, und welche Form nimmt unter Berücksichtigung des wesentlichen und des äusseren Widerstands die in voriger Antwort aufgestellte Gleichung:

$$J = \frac{E}{W}$$

an, durch welche das Ohmsche Gesetz ausgedrückt ist?

Antwort. Bei der Betrachtung des gesamten Widerstands im Stromkreis eines Rheomotors unterscheidet man

1). zwischen dem Widerstand, welcher innerhalb des Rheomotors selbst enthalten ist und nennt diesen Teil des gesamten Widerstands den wesentlichen Widerstand des Stromkreises, und

2). zwischen dem Widerstand, welcher ausserhalb des Rheomotors, also im Schliessungskreis, d. h. im äusseren Teil des Stromkreises enthalten ist, und nennt diesen Teil des gesamten Widerstands des Stromkreises den äusseren Widerstand.

Bezeichnet man den wesentlichen Widerstand des Stromkreises mit w, den äusseren Widerstand mit r, so ist der Gesamtwiderstand W des Stromkreises:

a). $W = w + r$

und in Rücksicht dessen geht die in voriger Antw. abgeleitete Gleichung d).:

$$J = \frac{E}{W}$$

welche das Ohmsche Gesetz ausdrückt, über in:

b). . . . $J = \frac{E}{w+r}$ Stromstärkeeinheiten.

Frage 339. Welche Form nimmt die in Antwort auf Frage 338 abgeleitete Gleichung:

$$J = \frac{E}{w+r}$$

durch welche das Ohmsche Gesetz ausgedrückt wird, an, wenn dasselbe auf eine galvanische Säule aus n Elementen bezogen wird?

Die gegebene Antwort ist durch ein Beispiel zu erläutern.

Antwort. Besteht eine galvanische Säule aus n gleichartigen Elementen, welche in der in Antwort auf Frage 138 unter 1). beschriebenen Art verbunden sind, und besitzt jedes dieser Elemente die elektromotorische Kraft e, so ist die elektromotorische Kraft E dieser Säule nach Antwort auf Frage 321:

a). $E = n . e$

Da diese Elemente gleichartig sind, so besitzt jedes dieser Elemente den gleichen wesentlichen Widerstand w (siehe vorige Antwort). Der wesentliche Widerstand W der ganzen Säule ist somit:

b). $W = nw$

Bezeichnet man den äusseren Widerstand des Stromkreises mit r, die Stromstärke, welche von dieser Säule bei dem äusseren Widerstand r erhalten wird mit J, so ist nach dem Ohmschen Gesetz:

c). . . . $J = \frac{E}{W+r}$ Stromstärkeeinheiten (siehe Erkl. 556).

Setzt man die Werte für E und W aus den Gleichungen a). und b). in Gleichung c). ein, so erhält man:

d). . . . $J = \frac{n \cdot e}{n \cdot w + r}$ Stromstärkeeinheiten

oder:

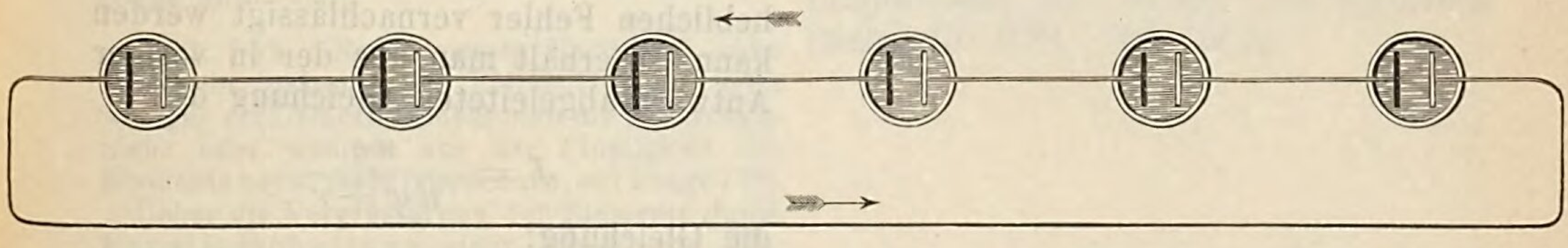
e). . . . $J = \frac{e}{w + \frac{r}{n}}$ Stromstärkeeinheiten.

Diese Beziehungen kann man durch folgendes Beispiel erläutern:

Angenommen, eine Säule, siehe Figur 186, besteht aus 6 gleichartigen Elementen, so besteht nach Gleichung d). für diese Säule die allgemeine Formel:

$$J = \frac{6 \cdot e}{6 \cdot w + r}$$ Stromstärkeeinheiten.

Figur 186.



Frage 340. Welche Beziehungen bestehen zwischen dem **wesentlichen** und dem **äusseren** Widerstand des Stromkreises einer galvanischen Säule, und welche Folgerungen ergeben sich aus diesen Beziehungen für die Stromstärke in dem betreffenden Stromkreis?

Antwort. Je nach der Grösse des äusseren Widerstandes, d. i. des Widerstandes der den äusseren Teil des Stromkreises bildenden Leiter, sind für das Verhältnis des wesentlichen Widerstandes einer bestimmten galvanischen Säule zum äusseren Widerstand im allgemeinen drei Fälle möglich, und zwar:

1). kann der wesentliche Widerstand kleiner sein als der äussere Widerstand,

2). kann er gleich dem äusseren Widerstand sein,

3). kann er grösser sein, als der äussere Widerstand.

Ist der wesentliche Widerstand einer galvanischen Säule im Verhältnis zum äusseren Widerstand r so klein, dass er in der in voriger Antwort gegebenen Gleichung e).:

$$J = \frac{e}{w + \frac{r}{n}}$$

ohne erheblichen Fehler vernachlässigt werden kann, so geht diese Gleichung über in:

$$\text{a).} \quad . \; . \; . \; . \quad J = \frac{n \, . \, e}{r}$$

Diese Gleichung in Worte gefasst, heisst:

„Ist der äussere Widerstand r eines Stromkreises sehr gross im Vergleich zum wesentlichen Widerstand der galvanischen Säule, so ist die Stromstärke J in diesem Stromkreis (annähernd) proportional der Anzahl der Elemente dieser Säule."

Ist hingegen der wesentliche Widerstand einer galvanischen Säule im Verhältnis zum äusseren Widerstand r des Stromkreises so gross, dass r ohne erheblichen Fehler vernachlässigt werden kann, so erhält man aus der in voriger Antwort abgeleiteten Gleichung d).:

$$J = \frac{n\,e}{n\,w + r}$$

die Gleichung:

$$J = \frac{n \, . \, e}{n \, . \, w}$$

oder:

$$\text{b).} \quad . \; . \; . \; . \quad J = \frac{e}{w} \text{ Stromstärkeeinheiten.}$$

Diese Gleichung in Worte gefasst, heisst:

„Ist der äussere Widerstand eines Stromkreises sehr klein im Verhältnis zum wesentlichen

Widerstand der galvanischen Säule, so ist die Stromstärke in diesem Stromkreis (annähernd) die gleiche, einerlei aus wievielen Elementen die Säule besteht.

Ist der wesentliche Widerstand w eines jeden der Elemente eines Stromkreises gleich dem äusseren Widerstand r, so erhält man aus der in voriger Antwort abgeleiteten Gleichung d).:

$$J = \frac{n \cdot e}{n \cdot w + r}$$

die Gleichung:

$$J = \frac{n \cdot e}{n \cdot r + r}$$

oder:

$$\text{c}). \ldots . \quad J = \frac{n \cdot e}{r(n+1)}$$

oder auch:

$$\text{d}). \ldots . \quad J = \frac{e}{r\left(1 + \frac{1}{n}\right)}$$

Frage 341. Welchen Einfluss hat die Grösse der galvanischen Elemente auf den wesentlichen Widerstand derselben?

Antwort. Da der Leitungswiderstand eines Körpers im allgemeinen umgekehrt proportional dem Querschnitt des betreffenden Körpers ist, und die Grösse der Elemente durch den Querschnitt der Elementflüssigkeit senkrecht zur Richtung des elektrischen Stroms bedingt ist (siehe Erkl. 557), so ist der wesentliche Widerstand eines Elements umgekehrt proportional der Grösse des Elements (siehe die Erkl. 558—560).

Erkl. 557. Unter der Grösse eines galvanischen Elements versteht man die Grösse desjenigen Teils der Elektroden, welcher in die Flüssigkeit eintaucht (siehe Antwort auf Frage 42), oder, was dasselbe ist, denjenigen Teil des Querschnitts der Elementflüssigkeit senkrecht zur Richtung des elektrischen Stroms, welcher zwischen den Elektroden sich befindet (siehe Erkl. 558).

Erkl. 558. Nach voriger Erklärung kann man ein galvanisches Element mehr oder weniger verkleinern, indem man die Elektroden mehr oder weniger aus der Flüssigkeit des Elements heraushebt (siehe Antw. auf Frage 132).

Ueber die Vergrösserung der Elemente durch Parallelschaltung einer Anzahl von Elementen siehe Antwort auf Frage 138 unter 2). und Erkl. 189.

Erkl. 559. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass (siehe Antwort auf Frage 18) die elektromotorische Kraft unabhängig ist von der Grösse der sich berührenden Körper, dass somit die elektromotorische Kraft eines Elements unabhängig ist von der Grösse des Elements (siehe Erkl. 560).

Erkl. 560. Aus Antwort auf Frage 18 geht hervor, dass die Grösse der elektromotorischen

Kraft eines Elements nur durch die Natur der Körper (Metalle und Flüssigkeiten), aus welchen das Element zusammengesetzt ist, bedingt wird.

Frage 342. Welche Form nimmt die in Antwort auf Frage 338 abgeleitete Gleichung b).:

$$J = \frac{E}{w+r}$$

durch welche das Ohmsche Gesetz ausgedrückt wird, an, wenn dasselbe auf eine Anzahl von n parallel geschalteten Elementen angewendet wird?

Die Antwort ist an einem Beispiel zu erläutern.

Antwort. Wird eine Anzahl n von gleichartigen galvanischen Elementen, wie in Antwort auf Frage 138 unter 2). erwähnt, in der Weise kombiniert (geschaltet), dass ihre sämtlichen positiven Pole unter sich, und sämtliche negativen Pole unter sich verbunden sind, so befinden sich diese Elemente nach Erkl. 189 in Parallelschaltung und bilden ein einziges Element, welches nach voriger Antwort dieselbe elektromotorische Kraft besitzt, wie ein einzelnes dieser Elemente.

Da nun der Querschnitt der Flüssigkeitssäule dieses so gebildeten grossen Elements n mal so gross ist, als der Querschnitt eines einzelnen dieser Elemente, so ist auch der wesentliche Widerstand dieses n fachen Elements n mal kleiner als der wesentliche Widerstand w eines einzelnen dieser Elemente.

Bezeichnet man daher die elektromotorische Kraft eines dieser Elemente mit e, den wesentlichen Widerstand desselben mit w, den äusseren Widerstand mit r, die Stromstärke mit J, so ist nach dem Ohmschen Gesetz für diese Kombination:

$$\text{a)} \ldots J = \frac{e}{\frac{w}{n} + r} \text{ Stromstärkeeinheiten.}$$

Hat man z. B. eine Anzahl von $n = 6$ parallel geschalteten Elementen, so ist der wesentliche Widerstand dieser Elementgruppe $^1/_6$ von dem wesentlichen Widerstand eines einzelnen dieser Elemente, und es ist nach voriger Gleichung und unter Anwendung obiger Bezeichnungen:

$$J = \frac{e}{\frac{w}{6} + r}$$

Frage 343. Welche Beziehungen bestehen zwischen dem wesentlichen und äusseren Widerstand eines Stromkreises, welcher eine Anzahl von n parallel

Antwort. Ist der wesentliche Widerstand $\frac{w}{n}$ [siehe Gleichung a). in voriger

geschalteten galvanischen Elementen enthält, und welche Form nimmt die in voriger Antwort abgeleitete Gleichung a).:

$$J = \frac{e}{\frac{w}{n} + r}$$

in Rücksicht auf diese Beziehungen an?

Antwort] einer Anzahl von n parallel geschalteten galvanischen Elementen im Verhältnis zum äusseren Widerstand r des Stromkreises dieser Elemente so klein, dass er ohne wesentlichen Fehler vernachlässigt werden kann, so geht Gleichung a).:

$$J = \frac{e}{\frac{w}{n} + r}$$

in voriger Antwort über in:

a). $J = \frac{e}{r}$

Ist dagegen der äussere Widerstand r des betreffenden Stromkreises im Verhältnis zum wesentlichen Widerstand w so klein, dass er ohne erheblichen Fehler vernachlässigt werden kann, so geht die in voriger Antwort aufgestellte Gleichung a).:

$$J = \frac{e}{\frac{w}{n} + r}$$

über in:

b). $J = \frac{e}{\frac{w}{n}}$

das ist:

$$J = \frac{n e}{w}$$

Gleichung a). in Worte gesetzt, heisst:

„Wenn der wesentliche Widerstand einer Anzahl parallel geschalteter Elemente gering ist gegen den äusseren Widerstand des Stromkreises, so ist die Stromstärke (annähernd) proportional der Anzahl parallel geschalteter Elemente.

Gleichung b). in Worte gesetzt, heisst:

„Wenn der äussere Widerstand gering ist gegen den wesentlichen Widerstand des Stromkreises, so ist die Stromstärke (annähernd) proportional der Anzahl der parallel geschalteten Elemente.

Frage 344. Wie muss eine Anzahl n gleichartiger galvanischer Elemente verbunden (geschaltet) werden, um bei

Antwort. Eine gegebene Anzahl n gleichartiger galvanischer Ele-

einem gegebenen äusseren Widerstand die möglichst grosse Stromstärke in dem Stromkreis zu erhalten?

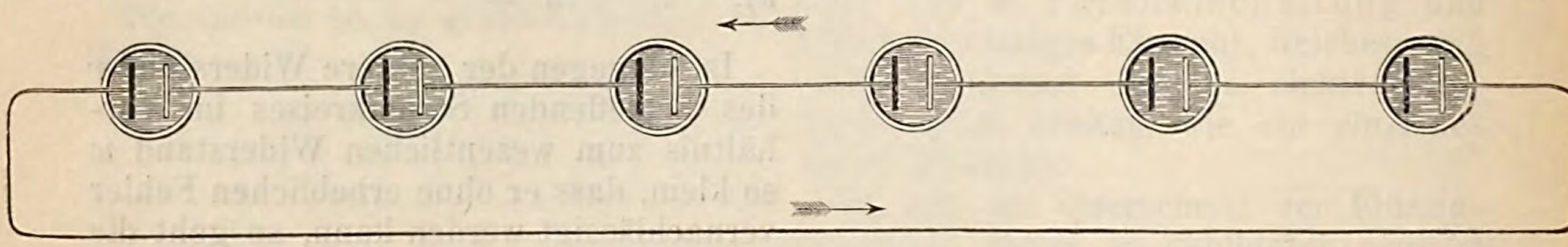
Die Antwort ist durch einige Beispiele zu erläutern.

mente kann man nach Antwort auf Frage 138 in verschiedener Weise schalten, und zwar kann man dieselben

1). zu einer Säule von n Elementen verbinden, d. h. man kann die n Elemente alle hintereinander schalten;

Sind z. B. 6 gleichartige Elemente gegeben, so kann man dieselben zu einer Säule von $n = 6$ Elementen verbinden [siehe die schematische Figur 187 und Antwort auf Frage 138 unter 1).].

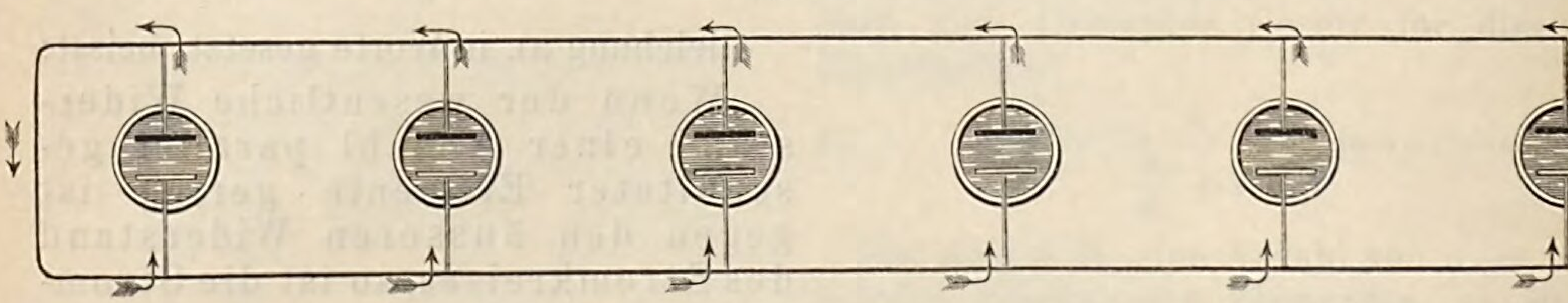
Figur 187.



2). kann man die n Elemente alle parallel schalten, um auf diese Weise ein einziges Element von n facher Grösse zu erhalten;

Demnach kann man 6 Elemente durch Parallelschaltung zu einem einzigen Element von $n = 6$ facher Grösse verbinden (siehe die schematische Figur 188 und Antwort auf Frage 138 unter 2).

Figur 188.

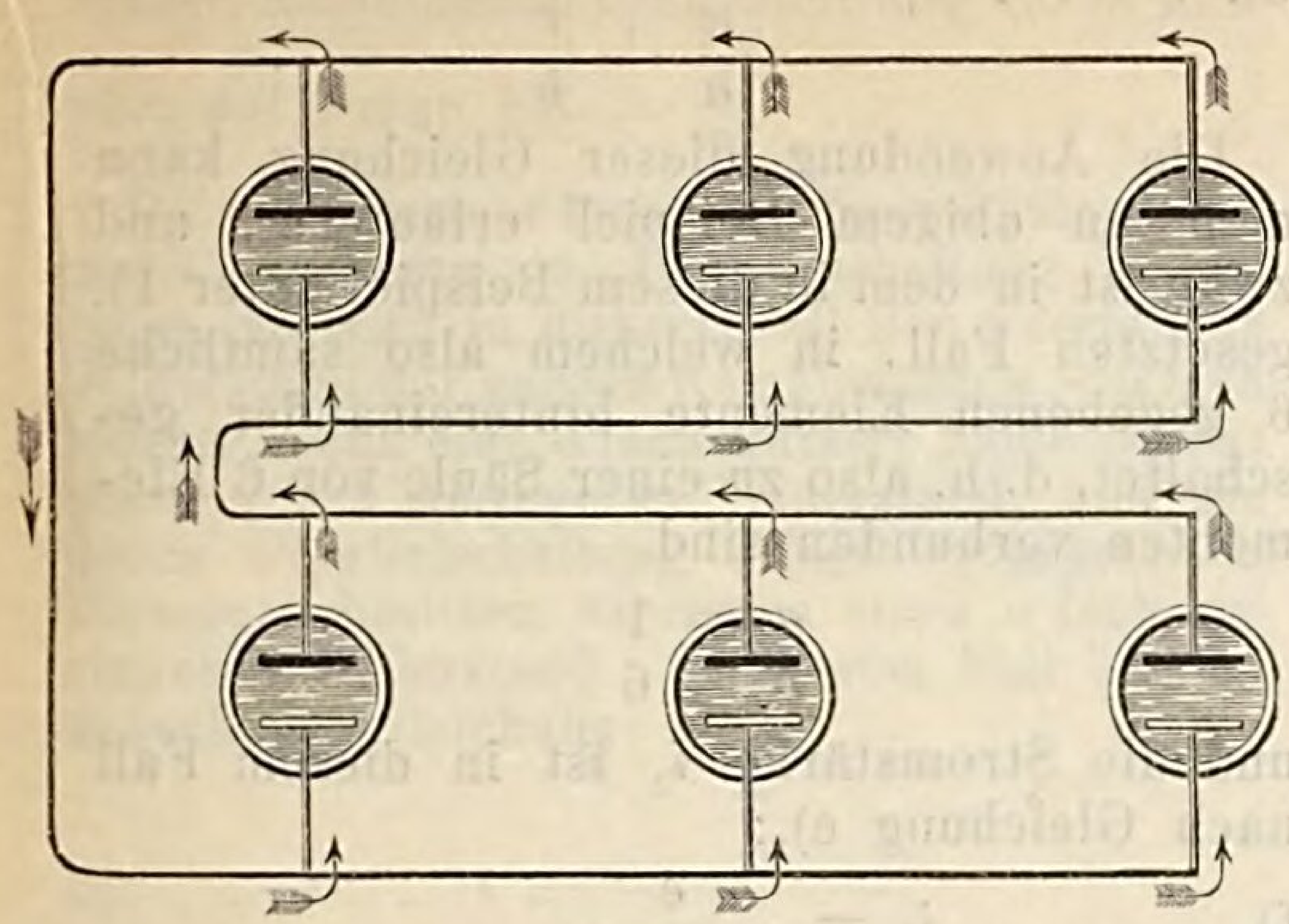


3). kann man die n Elemente zu je a Elementen parallel schalten und diese so erhaltenen Elemente von a facher Grösse zu einer Säule von b dieser a fachen Elemente verbinden. Hierbei erhält man eine Säule aus b Elementen von je a facher Grösse;

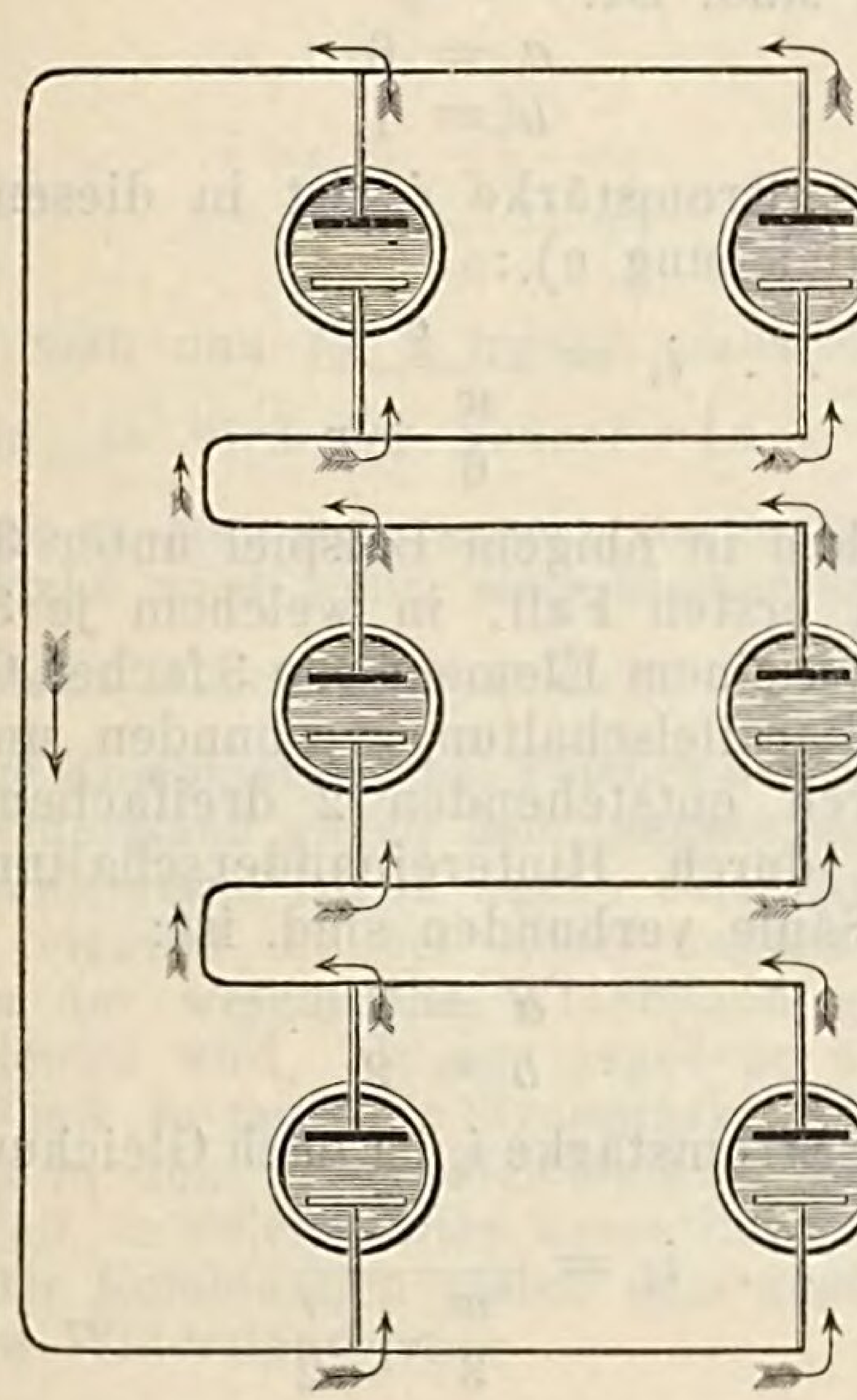
So kann man z. B. von 6 Elementen je $a = 3$ zu dreifachen Elementen verbinden und diese 2 dreifachen Elemente zu einer Säule von $b = 2$ dreifachen Elementen verbinden [siehe die schematische Figur 189 und Antwort auf Frage 138 unter 3).],

oder man kann dieselben 6 Elemente je $a = 2$ zu doppelten Elementen verbinden

Figur 189.



Figur 190.



und diese 3 doppelten Elemente zu einer Säule von 3 doppelten Elementen verbinden [siehe Figur 190 und Antwort auf Frage 138 unter 4).].

Um nun zu berechnen, welche dieser Kombinationen bei einem gegebenen äusseren Widerstand r die grösste Stromstärke J liefert, verfährt man wie folgt:

A). Sind je a Elemente zu einem a-fachen Element, und ist die so erhaltene Anzahl von b a fachen Elementen zu einer Säule verbunden, so ist die Gesamtzahl n dieser gegebenen Elemente:

a). $n = a \, . \, b$

In jeder Gruppe von a parallel geschalteten Elementen ist der wesentliche Widerstand a mal geringer als in einem einzelnen Element. Bezeichnet man den wesentlichen Widerstand eines einzelnen Elements mit w, so ist der Widerstand von a parallel geschalteten Elementen demnach $= \frac{w}{a}$

Ist nun der gegebene äussere Widerstand im Stromkreis eines solchen a-fachen Elements $= r$, so ist die Stromstärke i im Stromkreis dieses einen a fachen Elements

b). $i = \frac{e}{\frac{w}{a} + r}$

[siehe Gleichung a). in Antwort auf Frage 342].

B). Ist nun eine Säule von b solcher a fachen Elemente durch Hintereinanderschaltung der sich aus der Anzahl n ergebenden b a fachen Elemente gebildet, so ist der wesentliche Widerstand dieser Säule von b a fachen Elementen $= b \frac{w}{a}$ und es ist nach Gleichung d). in Antwort auf Frage 339 die Stromstärke i_1 im Stromkreis dieser Säule bei dem gegebenen äusseren Widerstand r:

c). $i_1 = \frac{b \, e}{b \frac{w}{a} + r}$

oder:

d). $i_1 = \frac{e}{\frac{b \, w}{b \, a} + \frac{a \, r}{a \, b}}$

das ist:

Erkl. 561. Der in nebenstehender Antwort erwähnte Satz: „Von einer gegebenen Anzahl galvanischer Elemente erhält man bei einem gegebenen äusseren Widerstand r die grösste Stromstärke, wenn man diese Elemente so kombiniert, dass der wesentliche Widerstand des Stromkreises gleich dem äusseren Widerstand ist“, kann sowohl experimentell als auch mit höherer Rechnung bewiesen werden (siehe Erkl. 562); die Richtigkeit desselben kann man nach *J. Müller* prüfen wie folgt:

Angenommen, man habe eine Anzahl von Elementen derart kombiniert, dass ihr gesamter wesentlicher Widerstand $b\frac{w}{a}$ [siehe nebenstehende Gleichung k).] gleich dem äusseren Widerstand r ist, und man bezeichnet die Stromstärke mit J, die elektromotorische Kraft der ganzen Kombination mit E, so besteht nach dem Ohmschen Gesetz die Gleichung:

$$\text{a)}. \ldots\ldots J = \frac{E}{r+r}$$

oder:

$$J = \frac{E}{2\,r}$$

Kombiniert man nun dieselbe Anzahl von Elementen in demselben Stromkreis in einer andern Schaltung, so dass die Säule a mal weniger Elemente in Hintereinanderschaltung

$$\text{e)}. \ldots\ldots i_1 = \frac{e}{\frac{w}{a}+\frac{r}{b}}$$

Die Anwendung dieser Gleichung kann man an obigem Beispiel erläutern, und zwar ist in dem in diesem Beispiel unter 1). gesetzten Fall, in welchem also sämtliche 6 gegebenen Elemente hintereinander geschaltet, d. h. also zu einer Säule von 6 Elementen verbunden sind,

$$a = 1$$
$$b = 6$$

und die Stromstärke i_2 ist in diesem Fall nach Gleichung e).:

$$\text{f)}. \ldots\ldots i_2 = \frac{e}{w+\frac{r}{6}}$$

In dem in obigem Beispiel unter 2). gesetzten Fall, in welchem also sämtliche Elemente durch Parallelschaltung zu einem einzigen Element von 6 facher Grösse verbunden sind, ist:

$$a = 6$$
$$b = 1$$

und die Stromstärke i_3 ist in diesem Fall nach Gleichung e).:

$$\text{g)}. \ldots\ldots i_3 = \frac{e}{\frac{w}{6}+r}$$

In dem in obigem Beispiel unter 3). gesetzten ersten Fall, in welchem je 3 Elemente zu einem Element von 3facher Grösse durch Parallelschaltung verbunden und die hierdurch entstehenden 2 dreifachen Elemente durch Hintereinanderschaltung zu einer Säule verbunden sind, ist:

$$a = 3$$
$$b = 2$$

und die Stromstärke i_4 ist nach Gleichung e).:

$$\text{h)}. \ldots\ldots i_4 = \frac{e}{\frac{w}{3}+\frac{r}{2}}$$

In dem in obigem Beispiel unter 3). gesetzten zweiten Fall, in welchem also je 2 Elemente durch Parallelschaltung zu einem zweifachen Element verbunden, und diese 3 doppelten Elemente durch Hintereinanderschaltung zu einer Säule verbunden sind, ist:

$$a = 2$$
$$b = 3$$

und die Stromstärke i_5 ist nach Gleichung e).:

$$\text{i)}. \ldots\ldots i_5 = \frac{e}{\frac{w}{2}+\frac{r}{3}}$$

hat, so wird die elektromotorische Kraft dieser andern Kombination nach Gleichung b). in Antwort auf Frage 321 $= \frac{E}{a}$

Da nun diese a fach verkürzte Säule a mal mehr Elemente in Parallelschaltung haben muss, so wird in diesem Fall der wesentliche Widerstand der ganzen Kombination $a \times a$ fach kleiner, denn eine a fach kürzere Säule besitzt einen a fach geringeren Widerstand, und die durch Parallelschaltung a fach vergrösserten Elemente besitzen wiederum einen a fach geringeren Widerstand. In diesem Fall besteht sonach die Gleichung:

$$\text{b}). \ldots \ldots \quad i = \frac{\frac{E}{a}}{\frac{r}{a \cdot a} + r}$$

(worin i die bei dieser Kombination sich ergebende Stromstärke bezeichnet)

oder:

$$i = \frac{E}{\frac{r}{a} + a\,r}$$

oder:

$$\text{c}). \ldots \ldots \quad i = \frac{E}{r\left(\frac{1}{a} + a\right)}$$

Setzt man nun für a irgend einen Zahlenwert ein, so wird der Nenner $r\left(a + \frac{1}{a}\right)$ in Gleichung c). stets grösser sein als $2\,r$ und die Stromstärke wird somit stets kleiner sein als $\frac{E}{2\,r}$ (siehe Gleichung a)., d. h. also: Wird diejenige Kombination, bei welcher der wesentliche Widerstand gleich dem (gegebenen) äusseren Widerstand ist, in irgend einer Art verändert, einerlei, ob bei dieser andern Kombination der wesentliche Widerstand grösser oder kleiner wird, als der gegebene äussere Widerstand, so muss die Stromstärke i kleiner sein als in dem durch Gleichung a). bezeichneten Fall, in welchem der wesentliche Widerstand der Kombination gleich dem gegebenen äusseren Widerstand ist.

Der durch Gleichung e). gegebene Wert i_1 der Stromstärke ist am grössten, wenn der wesentliche Widerstand der ganzen Kombination der gegebenen Elemente gleich ist dem gegebenen äusseren Widerstand des Stromkreises, wenn also in Gleichung c).:

$$\text{k}). \ldots \ldots \quad b\,\frac{w}{a} = r$$

ist oder:

$$\text{k}_1). \ldots \ldots \quad \frac{w}{a} = \frac{r}{b}$$

ist (siehe Erkl. 561).

Da nun nach Gleichung a).:

$$a \cdot b = n$$

so ist:

$$\text{l}). \ldots \ldots \quad a = \frac{n}{b}$$

Setzt man diesen Wert von a in Gleichung k_1). ein, so erhält man:

$$\frac{w}{\frac{n}{b}} = \frac{r}{b}$$

oder:

$$b\,\frac{w}{n} = \frac{r}{b}$$

oder:

$$b^2 = \frac{n\,r}{w}$$

woraus sich ergibt:

$$\text{m}). \ldots \ldots \quad b = \sqrt{\frac{n\,r}{w}}$$

In gleicher Weise ergibt sich aus Gleichung a).:

$$\text{n}). \ldots \ldots \quad b = \frac{n}{a}$$

Setzt man diesen Wert für b in Gleichung k_1). ein, so erhält man:

$$\frac{w}{a} = \frac{r}{\frac{n}{a}}$$

oder:

$$\frac{w}{a} = \frac{r \cdot a}{n}$$

oder:

$$a^2 = \frac{n \cdot w}{r}$$

woraus sich ergibt:

$$\text{o}). \ldots \ldots \quad a = \sqrt{\frac{n \cdot w}{r}}$$

Die Anwendung der beiden Gleichungen m). und o). für die Berechnung der Schaltung einer gegebenen Anzahl von Elementen

zur Erlangung der grösstmöglichen Stromstärke bei einem gegebenen äusseren Widerstand kann man an dem oben gewählten Beispiel wie folgt darthun: Angenommen, die Anzahl der Elemente ist $n = 6$, der innere Widerstand eines einzelnen dieser Elemente ist $w = 12$ Widerstandseinheiten, der gegebene äussere Widerstand ist $r = 2$ Widerstandseinheiten, so ist nach Gleichung o). die Anzahl a der parallel zu schaltenden Elemente:

$$a = \sqrt{\frac{6 \cdot 12}{2}}$$

$$a = \sqrt{\frac{72}{2}}$$

$$a = 6$$

und die Anzahl b der afachen hintereinander zur Säule verbundenen Elemente nach Gleichung m).:

$$b = \sqrt{\frac{6 \cdot 2}{12}}$$

$$b = 1,$$

was aus der Bestimmung von a ebenfalls hervorgeht.

Erkl. 562. Um den in voriger Erklärung definierten Satz experimentell beweisen zu können, muss man die Grösse des wesentlichen Widerstands eines der betreffenden galvanischen Elemente messen (über die Messung des Widerstands siehe einen späteren Abschnitt). Misst man alsdann die von den gegebenen Elementen unter Anwendung der verschiedenen möglichen Kombinationen derselben unter Beibehaltung desselben äusseren Widerstands erzielte Stromstärke an einer Tangentenbussole (siehe Antwort auf Frage 333), so wird man finden, dass die Stromstärke am grössten ist, wenn der wesentliche Widerstand des Stromkreises gleich dem äusseren Widerstand desselben ist.

Beispiel 2. Angenommen, es sollen 40 gleichartige Elemente, deren wesentlicher Widerstand w je $= 8$ Widerstandseinheiten, in einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand $r = 20$ Widerstandseinheiten, so geschaltet werden, dass sie die grösstmögliche Stromstärke liefern.

Nach Gleichung o). ist in diesem Fall:

$$a = \sqrt{\frac{40 \cdot 8}{20}}$$

oder:

$$a = \sqrt{16}$$

das ist:

$$a = 4$$

und nach Gleichung m). ist:

$$b = \sqrt{\frac{40 \cdot 20}{8}}$$

oder:

$$b = \sqrt{100}$$

das ist:

$$b = 10$$

Die grösstmögliche Stromstärke wird in diesem Falle sonach erreicht durch Parallelschaltung von je $a = 4$ Elementen, woraus sich eine Säule von $b = 10$ vierfachen Elementen ergibt.

Frage 345. Durch welche Gleichung kann man den Wert der grösstmöglichen Stromstärke bei einer gege-

Antwort. Nach voriger Antwort erhält man die grösstmögliche Strom-

benen Anzahl von gleichartigen Elementen und bei einem gegebenen äusseren Widerstand ausdrücken, und wie kann man diese Gleichung ableiten?

stärke bei einer gegebenen Anzahl von gleichartigen Elementen und einem gegebenen äusseren Widerstand, wenn der wesentliche Widerstand des Stromkreises gleich dem äusseren Widerstand ist, wenn also in der in voriger Antwort abgeleiteten Gleichung e). nämlich in:

$$\text{a).} \dots \quad i_1 = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{r}{b}}$$

die Werte $\frac{w}{a}$ und $\frac{r}{b}$ einander gleich sind, also:

$$\text{b).} \dots \quad \frac{w}{a} = \frac{r}{b}$$

Da nun nach Gleichung m). in voriger Antwort:

$$\text{c).} \dots \quad b = \sqrt{\frac{n \cdot r}{w}}$$

und nach Gleichung o). in voriger Antwort ferner:

$$\text{d).} \dots \quad a = \sqrt{\frac{n \cdot w}{r}} \text{ ist,}$$

so erhält man durch Einsetzung der Werte von b und a aus obigen Gleichungen c). und d). in obige Gleichung a). für die grösstmögliche Stromstärke J:

$$\text{e).} \dots \quad J = \frac{e}{\frac{w}{\sqrt{\frac{n \cdot w}{r}}} + \frac{r}{\sqrt{\frac{n \cdot r}{w}}}}$$

oder:

$$J = \frac{e}{\frac{w \cdot \sqrt{\frac{n \cdot r}{w}} + r\sqrt{\frac{n \cdot w}{r}}}{\sqrt{\frac{n \cdot w}{r}} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot r}{w}}}}$$

oder:

$$J = \frac{e \cdot \sqrt{\frac{n \cdot w}{r}} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot r}{w}}}{w \cdot \sqrt{\frac{n \cdot r}{w}} + r\sqrt{\frac{n \cdot w}{r}}}$$

oder:

$$J = \frac{e \cdot \sqrt{\frac{n \cdot w \cdot n \cdot r}{r \cdot w}}}{\sqrt{\frac{w^2 \cdot nr}{w}} + \sqrt{\frac{r^2 \cdot nw}{r}}}$$

das ist:

$$J = \frac{e \cdot n}{\sqrt{n \cdot r \cdot w} + \sqrt{n \cdot r \cdot w}}$$

oder:

$$J = \frac{e \,.\, n}{2\sqrt{n \,.\, r \,.\, w}} = \frac{e}{2}\sqrt{\frac{n^2}{n \,.\, r \,.\, w}}$$

das ist:

$$\text{f)}. \; \ldots \; J = \frac{e}{2} \cdot \sqrt{\frac{n}{r \,.\, w}}$$

Diese Gleichung ergibt den grösstmöglichen Wert J der Stromstärke, welchen eine Anzahl n von gleichartigen Elementen, deren jedes die elektromotorische Kraft e und den wesentlichen Widerstand w besitzt, in einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand $= r$ ist, liefert, wenn diese Elemente in der in voriger Antwort abgeleiteten Art und Weise nach den Gleichungen m). und o). in voriger Antwort in dem betr. Stromkreis geschaltet werden.

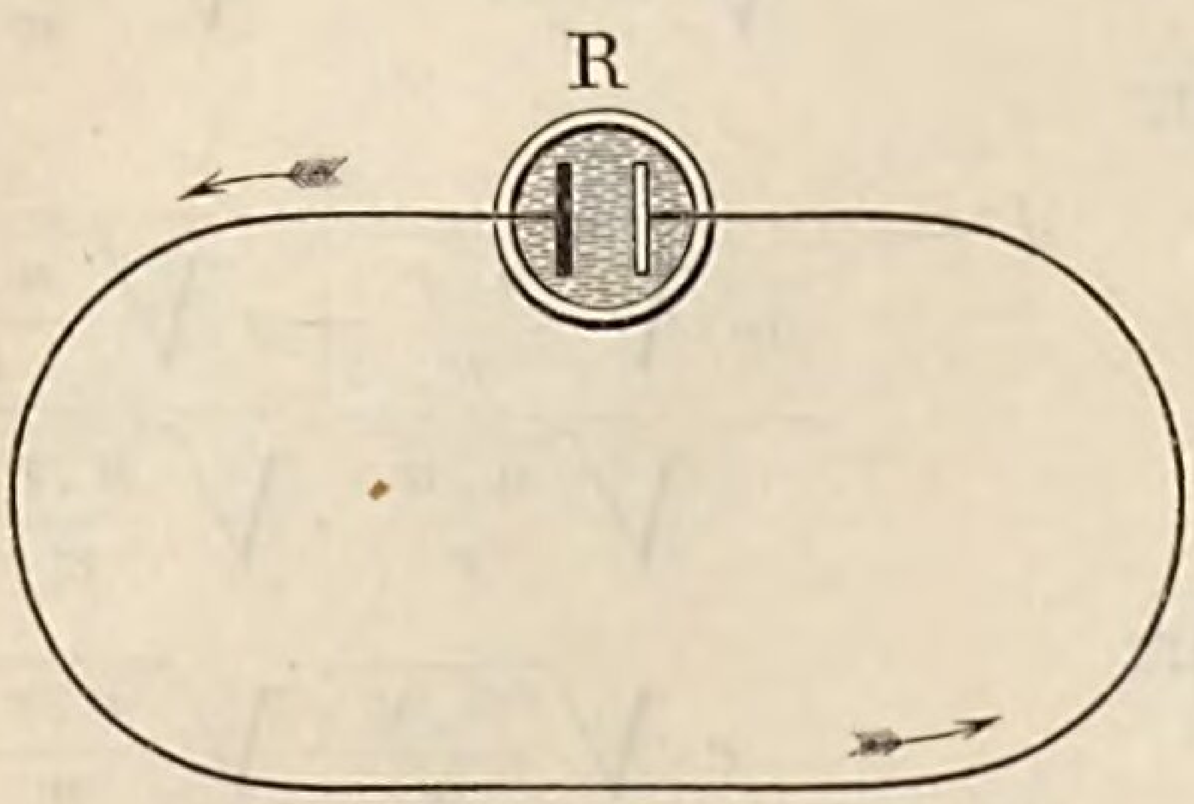
4). Ueber die Gesetze des verzweigten Stromkreises.

A). Ueber die Stromverzweigung im allgemeinen.

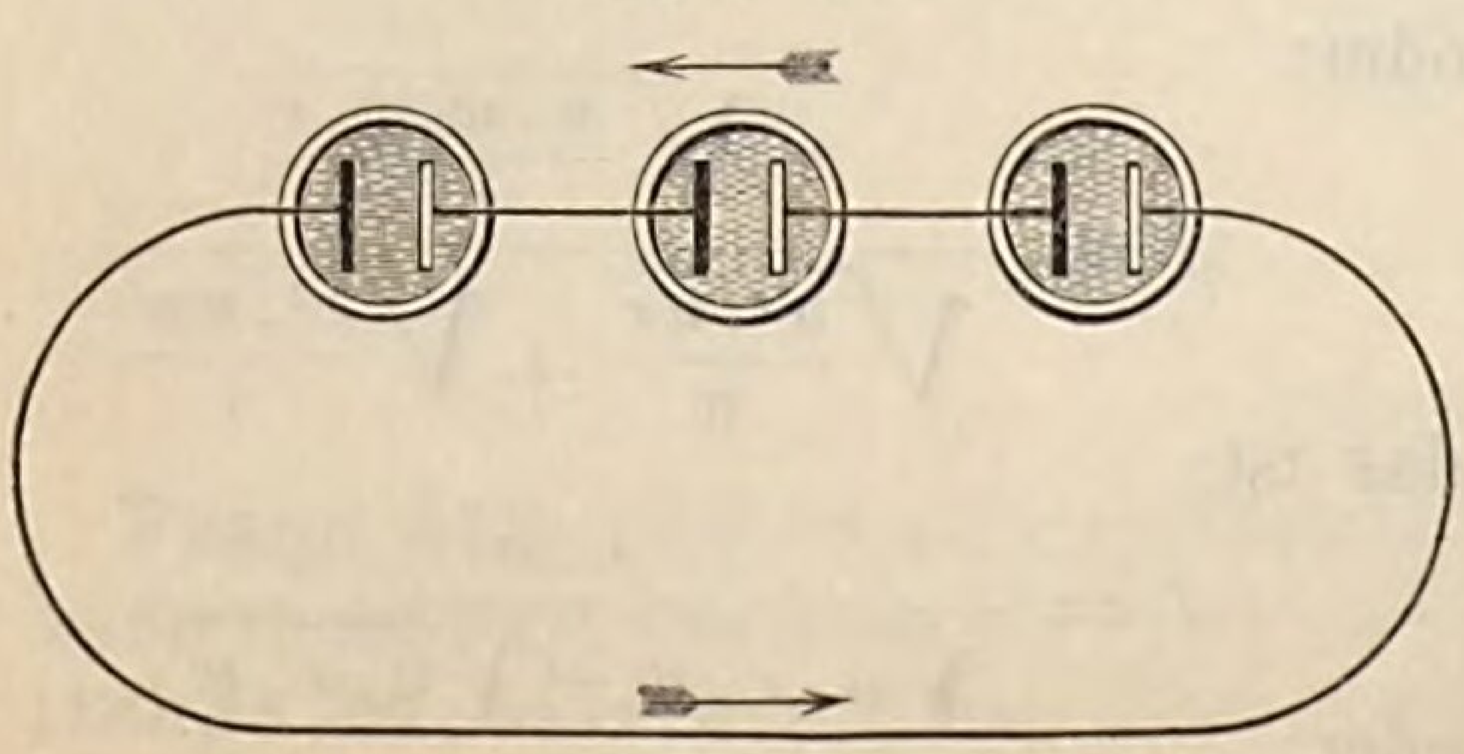
Frage 346. Was versteht man unter einem einfachen, was unter einem verzweigten Stromkreis?

Die Antwort ist durch einige Beispiele zu erläutern.

Figur 191.



Figur 192.



Antwort. Unter einem einfachen Stromkreis versteht man einen solchen Stromkreis, in welchem der elektrische Strom an allen Stellen nur einen einzigen Leiter durchfliesst, in welchem sonach an allen Stellen die gleiche Stromstärke besteht.

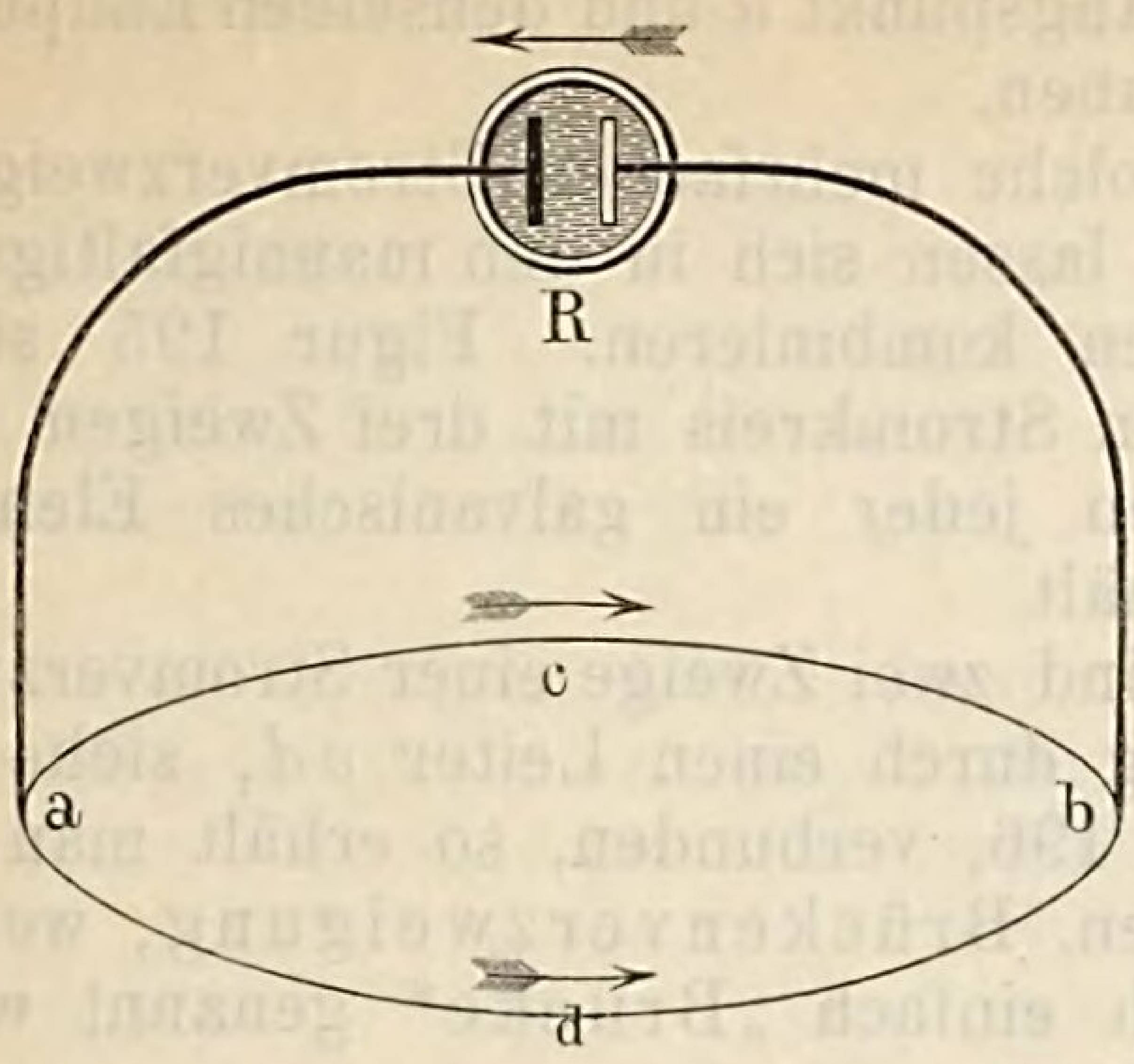
Unter einem verzweigten oder geteilten Stromkreis versteht man einen solchen Stromkreis, in welchem der elektrische Strom eine mehr oder weniger grosse Zahl von Leitern gleichzeitig durchfliesst, in welchem sonach an verschiedenen Stellen die Stromstärke eine verschiedene ist.

Zur Erläuterung des Begriffs des einfachen Stromkreises ist in Figur 191 ein einfacher Stromkreis eines einzelnen Elements, in Figur 192 ein einfacher Stromkreis einer Säule von 3 Elementen schematisch dargestellt.

Figur 193 stellt das Schema des Stromkreises eines einzelnen Elements dar, welcher zwischen den Punkten a und b zwei Zweige besitzt, in welchem also

der elektrische Strom sich in a in zwei Zweigströme teilt und in b wieder zu einem einzigen Strom vereinigt.

Figur 193.



Frage 347. Welches sind im allgemeinen die hauptsächlichsten Arten von Stromverzweigungen?

Antwort. Die hauptsächlichsten Arten von Stromverzweigungen sind im allgemeinen:

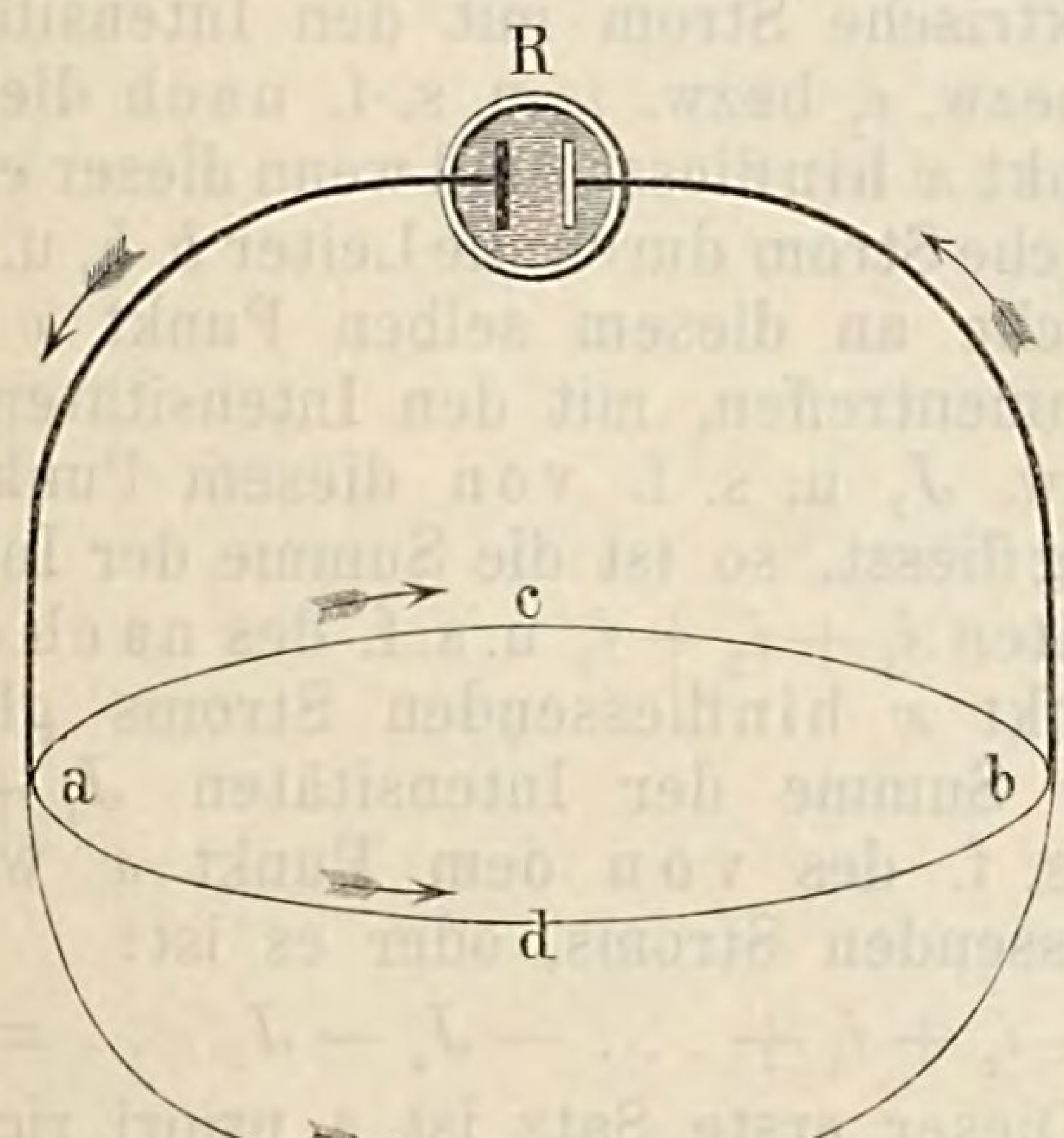
1). einfache Verzweigung,

2). mehrfache Verzweigung,

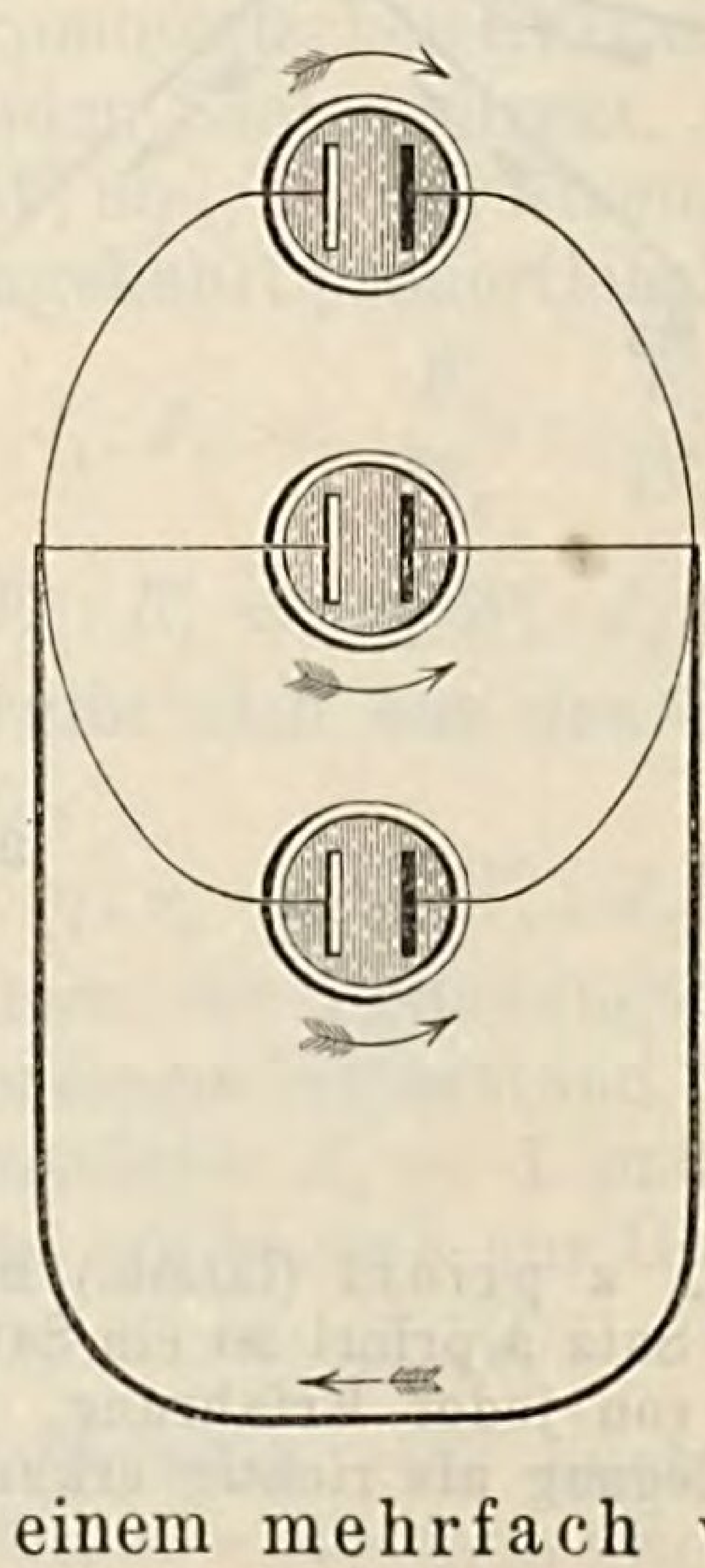
3). Brückenverzweigung.

Unter einem einfach verzweigten Stromkreis versteht man einen solchen Stromkreis, welcher nur einen Zweig besitzt, siehe Figur 193.

Figur 194.

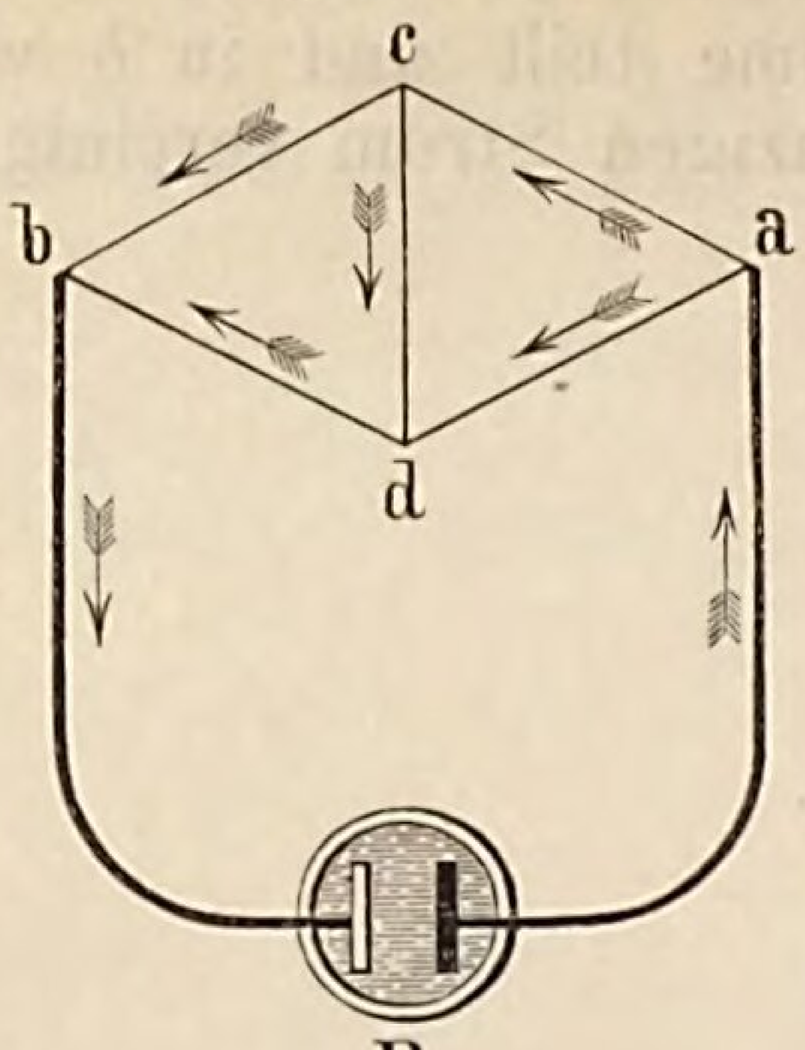


Figur 195.



Unter einem mehrfach verzweigten Stromkreis versteht man einen Stromkreis, welcher mehrere Zweige besitzt. In Figur 194 ist ein doppelt verzweigter Stromkreis schematisch darge-

Figur 196.



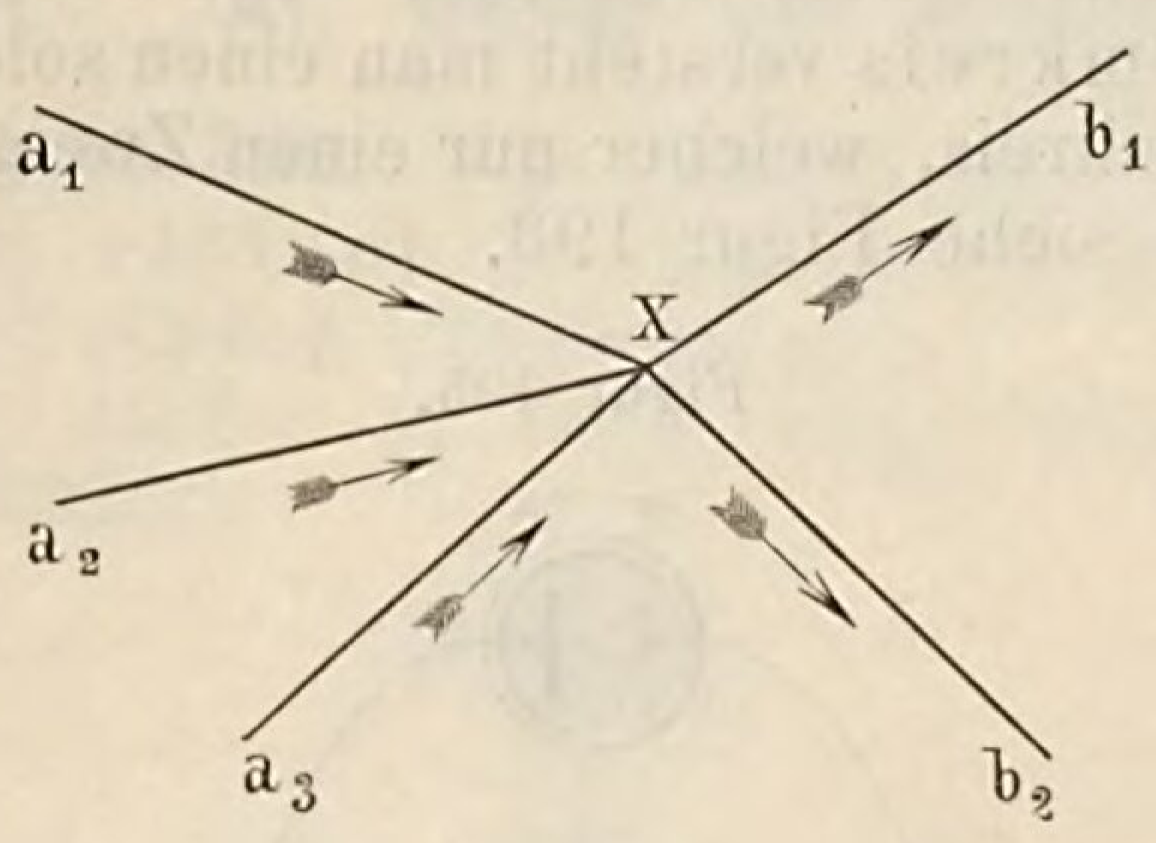
stellt, bei welchem die Zweige denselben Anfangspunkt a und denselben Endpunkt b haben.

Solche mehrfachen Stromverzweigungen lassen sich in den mannigfaltigsten Arten kombinieren. Figur 195 stellt einen Stromkreis mit drei Zweigen dar, deren jeder ein galvanisches Element enthält.

Sind zwei Zweige einer Stromverzweigung durch einen Leiter cd, siehe Figur 196, verbunden, so erhält man die sogen. Brückenverzweigung, welche auch einfach „Brücke" genannt wird.

Frage 348. Welche Sätze gelten für die Stromverzweigung im allgemeinen, von wem wurden dieselben aufgestellt, und wie kann man diese Sätze beweisen?

Figur 197.



Erkl. 563. a priori (latein.) heisst „von vorn". Ein Satz a priori ist ein Satz, welcher unabhängig von jeder Erfahrung, durch einfache Ueberlegung als richtig erkannt wird.

Antwort. Für die Stromverzweigung im allgemeinen gelten die folgenden von Kirchhoff aufgestellten und nach ihm benannten Sätze:

1). Wenn an einem Punkte x eines verzweigten Stromkreises eine Anzahl von Leitern $a_1\ a_2\ a_3$ u. s. f., siehe Figur 197, zusammentreffen, in welchen der elektrische Strom mit den Intensitäten i_1 bezw. i_2 bezw. i_3 u. s. f. nach diesem Punkt x hinfliesst, und wenn dieser elektrische Strom durch die Leiter $b_1\ b_2$ u. s. f., welche an diesem selben Punkt x zusammentreffen, mit den Intensitäten J_1 bezw. J_2 u. s. f. von diesem Punkt x wegfliesst, so ist die Summe der Intensitäten $i_1 + i_2 + i_3$ u. s. f. des nach dem Punkt x hinfliessenden Stroms gleich der Summe der Intensitäten $J_1 + J_2$ u. s. f. des von dem Punkt x wegfliessenden Stroms, oder es ist:

$$a). \quad . \ . \ . \ i_1 + i_2 + i_3 + \ldots - J_1 - J_2 \ldots = 0.$$

Dieser erste Satz ist a priori richtig (siehe Erkl. 563). Denn wenn derselbe nicht richtig wäre, so müsste in dem Punkte x eine Anhäufung oder eine Verminderung von Elektricität stattfinden, was in einem geschlossenen Stromkreis unmöglich ist.

2). In jedem verzweigten Stromkreis ist die Summe aller elektromotorischen Kräfte gleich dem Produkt aus der Summe der Stromstärken der einzelnen

Zweige mit der Summe der Widerstände der einzelnen Strecken.

Diesen Satz kann man aus dem Ohmschen Gesetz ableiten wie folgt:

Nach Antwort auf Frage 16 bringt die elektromotorische Kraft an den Polen einer offenen galvanischen Säule eine Spannungsdifferenz hervor. Wird eine Säule geschlossen, d. h. werden ihre Pole leitend verbunden, so entsteht infolge dieser Spannungsdifferenz ein elektrischer Strom, durch welchen die durch die elektromotorische Kraft der Säule getrennten beiden Elektricitäten sich ausgleichen. Infolgedessen vermindert sich bei der geschlossenen Säule die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Polen und zwar um so mehr, je geringer der Widerstand des die beiden Pole verbindenden Leiters ist.

Da nun nach Antwort auf Frage 320 und Erkl. 503 die Spannungsdifferenzen s_1 und s_2 zweier Säulen sich verhalten wie die elektromotorischen Kräfte E_1 und E_2 dieser beiden Säulen, also:

b). $s_1 : s_2 = E_1 : E_2$

und nach dem Ohmschen Gesetz die Stromstärken J_1 und J_2 dieser beiden Säulen den elektromotorischen Kräften E_1 und E_2 dieser beiden Säulen direkt, den Widerständen W_1 und W_2 der Stromkreise derselben umgekehrt proportional sind, also:

$$J_1 : J_2 = \frac{E_1}{W_1} : \frac{E_2}{W_2}$$

oder:

c). . . $E_1 : E_2 = J_1 W_1 : J_2 W_2$

ist, so ergibt sich aus den Gleichungen b). und c).:

d). . . . $s_1 : s_2 = J_1 W_1 : J_2 W_2$

Setzt man die Spannungsdifferenz s_1, welche bei einem Widerstand von $W_1 = 1$ der Stromstärke $J_1 = 1$ entspricht, als Einheit, so ergibt sich aus Gleichung d).:

e). $s_2 = J_2 W_2$

Demnach muss sich auch die Spannungsdifferenz s zwischen zwei beliebigen anderen Punkten des Stromkreises der geschlossenen Säule verhalten, wie das Produkt aus der Stromstärke J im Stromkreis und dem Widerstand w

zwischen diesen beiden Punkten, es muss also sein:

f). $s = Jw$

Denkt man sich den Stromkreis in n Teile geteilt, und bezeichnet man die Widerstände dieser n Teile mit $w_1\ w_2\ w_3$ w_n, die Spannungsdifferenzen zwischen je zwei Endpunkten dieser Teile mit $s_1\ s_2\ s_3$ s_n, die in dem Stromkreis vorhandene Stromstärke mit J, so ist:

$$s_1 = Jw_1$$
$$s_2 = Jw_2$$
$$s_3 = Jw_3$$
$$\cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot$$
$$s_n = Jw_n$$

Daraus ergibt sich:

g). $s_1 + s_2 + s_3 + \ldots + s_n = Jw_1 + Jw_2 + Jw_3 + \ldots + Jw_n$

Bezeichnet man die Summe aller Produkte dieser Widerstände mit der Stromstärke mit ΣJW, so ergibt sich aus Gleichung g). für die Summe Σs aller dieser Spannungsdifferenzen, d. h. für die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Polen der Säule:

h). $\Sigma s = \Sigma J.W$

Angenommen nun, es sei zwischen je zwei Endpunkten der erwähnten Teile statt der Spannungsdifferenz bezw. $s_1\ s_2\ s_3 \ldots s_n$ je eine elektromotorische Kraft bezw. $E_1\ E_2\ E_3 \ldots E_n$ vorhanden, welche bei den Widerständen bezw. $w_1\ w_2\ w_3 \ldots w_n$ dieser Teile des Stromkreises der Stromstärke J entsprechen, so muss, da sich diese elektromotorischen Kräfte verhalten wie die bezügl. Spannungsdifferenzen, auch:

i). $E_1 + E_2 + E_3 + \ldots + E_n = Jw_1 + Jw_2 + Jw_3 + \ldots + Jw_n$

d. h. also, wenn man mit ΣE die Summe dieser sämtlichen n elektromotorischen Kräfte und mit ΣJW die Summe der Produkte aus Stromstärke mit allen Widerständen bezeichnet:

k). $\Sigma E = \Sigma JW$ sein.

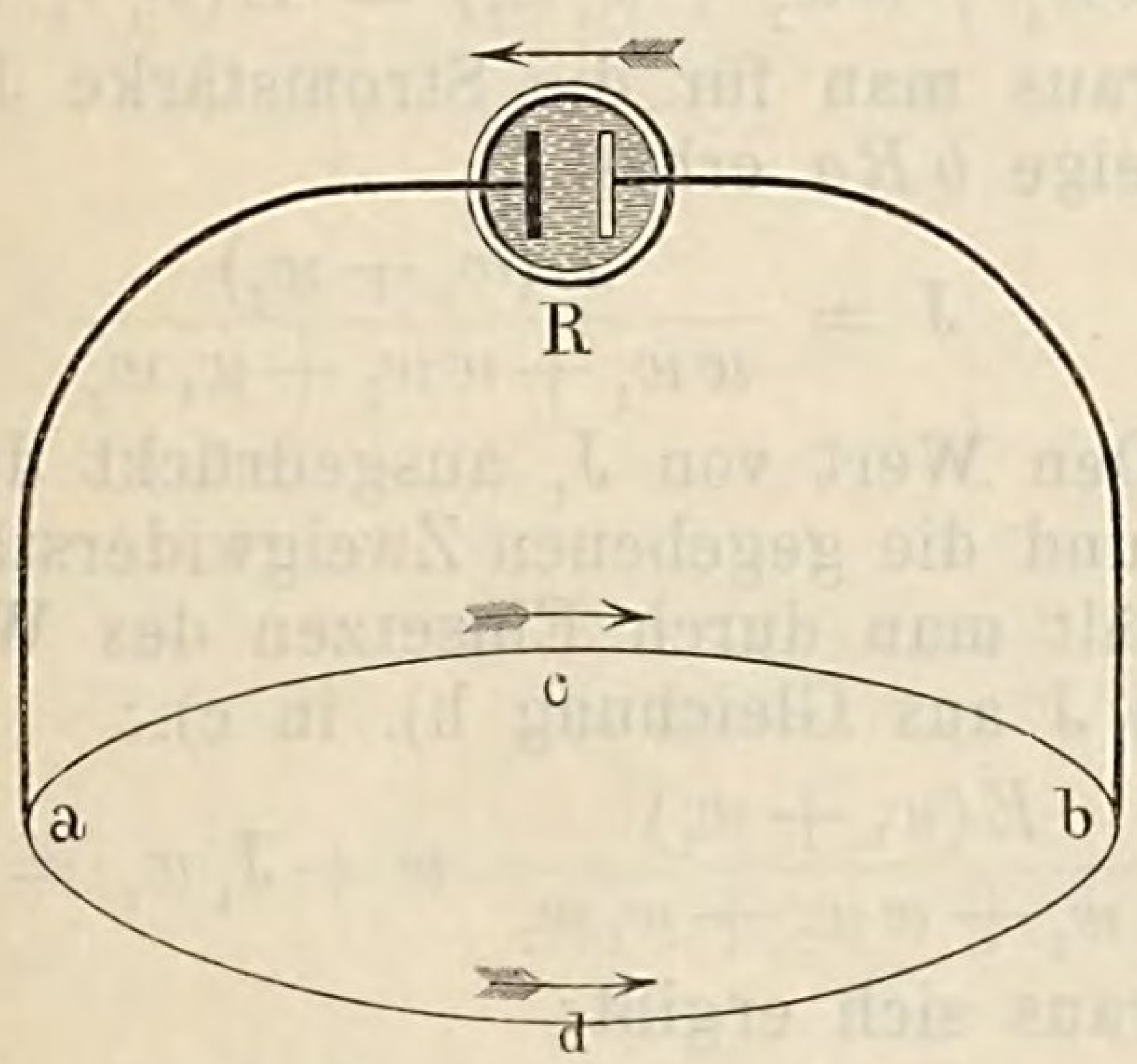
B). Ueber die Anwendung der Kirchhoffschen Sätze auf verschiedene Arten von Stromverzweigungen.

Frage 349. Welche Form nimmt die in Antwort auf Frage 337 für das Ohmsche Gesetz abgeleitete Gleichung:

$$J = \frac{E}{W}$$

an, wenn dasselbe auf einen einfach verzweigten Stromkreis, welcher nur in einem Zweige elektromotorische Kräfte enthält, angewendet wird, und welche Gleichung kann man zur Berechnung des Gesamtwiderstands aus den Zweigwiderständen aufstellen?

Figur 198.



Erkl. 564. Nebenstehende Gleichung b). in Worte gesetzt, heisst:

„Die Stromstärken in zwei parallelen Stromzweigen, welche keine elektromotorischen Kräfte enthalten, sind den in diesen Zweigen vorhandenen Widerständen umgekehrt proportional“ (siehe Erkl. 565).

Antwort. Ist, siehe Figur 198, ein einfach verzweigter Stromkreis gegeben, in dessen einem Zweig bRa sich ein Rheomotor R befindet, dessen elektromotorische Kraft $= E$ ist, und enthalten die beiden Zweige acb und adb keine elektromotorischen Kräfte, und ist:

A). im Zweig bRa:
die Stromstärke $= J$,
der Widerstand $= w$,

B). im Zweig acb:
die Stromstärke $= J_1$,
der Widerstand $= w_1$,

C). im Zweig adb:
die Stromstärke $= J_2$,
der Widerstand $= w_2$,

und bedeuten die Pfeile in Figur 198 die Richtung des Stroms in diesem Stromkreis, so ist nach dem zweiten Kirchhoffschen Satz (siehe vorige Antwort):

1). In dem Kreis $acbda$, in welchem keine elektromotorische Kraft enthalten ist, da für beide Zweige die gleiche Spannungsdifferenz, nämlich diejenige der Punkte a und b herrscht:

a). . . . $J_1 w_1 = J_2 w_2$

Daraus ergibt sich:

$$J_1 : J_2 = w_2 : w_1$$ (siehe Erkl. 564)

oder:

b). . . . $J_1 : J_2 = \frac{1}{w_1} : \frac{1}{w_2}$

2). In dem Kreis $RacbR$ ist nach dem 2. Kirchhoffschen Satz:

c). . . . $Jw + J_1 w_1 = E$

und in dem Kreis $RadbR$ ist ebenso:

d). . . . $Jw + J_2 w_2 = E$

Nach dem in voriger Antwort definierten 1. Kirchhoffschen Satz ist:

e). . . . $J = J_1 + J_2$

Aus Gleichung c). ergibt sich:

$$J_1 w_1 = E - Jw$$

oder:

f). . . . $J_1 = \frac{E - Jw}{w_1}$

und ebenso ergibt sich aus Gleichung d).:

$$J_2 w_2 = E - Jw$$

oder:

Erkl. 565. Als parallele Stromzweige bezeichnet man nach nebenstehender Antwort unter 1). solche Stromzweige, welche von denselben beiden Punkten (a und b) des Stromkreises, siehe Figur 198, abgezweigt sind.

g). . . . $J_2 = \frac{E - Jw}{w_2}$

Setzt man die Werte von J_1 und J_2 aus den Gleichungen f). und g). in Gleichung e). ein, so erhält man:

$$J = \frac{E - Jw}{w_1} + \frac{E - Jw}{w_2}$$

oder:

$$J = \frac{Ew_2 - Jww_2 + Ew_1 - Jww_1}{w_1 w_2}$$

oder:

$$J = \frac{Ew_1 + Ew_2 - Jw(w_1 + w_2)}{w_1 w_2}$$

oder:

$$Jw_1 w_2 = Ew_1 + Ew_2 - J(ww_1 + ww_2)$$

oder:

$$Jw_1 w_2 + J(ww_1 + ww_2) = Ew_1 + Ew_2$$

oder:

$$J(ww_1 + ww_2 + w_1 w_2) = E(w_1 + w_2)$$

woraus man für die Stromstärke J im Zweige bRa erhält:

h). . . $J = \frac{E(w_1 + w_2)}{ww_1 + ww_2 + w_1 w_2}$

Den Wert von J_1 ausgedrückt durch E und die gegebenen Zweigwiderstände erhält man durch Einsetzen des Werts von J aus Gleichung h). in c).:

$$\frac{E(w_1 + w_2)}{ww_1 + ww_2 + w_1 w_2} \cdot w + J_1 w_1 = E$$

woraus sich ergibt:

$$E(w_1 + w_2)w + J_1 w_1 (ww_1 + ww_2 + w_1 w_2) = E(ww_1 + ww_2 + w_1 w_2)$$

oder:

$$J_1 w_1 (ww_1 + ww_2 + w_1 w_2) = Eww_1 + Eww_2 + Ew_1 w_2 - Eww_1 - Eww_2$$

oder:

$$= Ew_1 w_2$$

Daraus ergibt sich:

$$J_1 w_1 = \frac{Ew_1 w_2}{ww_1 + ww_2 + w_1 w_2}$$

woraus man für die Stromstärke J_1 in dem Zweige ab erhält:

i). . . $J_1 = \frac{Ew_2}{ww_1 + ww_2 + w_1 w_2}$

Setzt man in gleicher Weise den Wert von J aus Gleichung h). in Gleichung d). ein, setzt man also:

$$\frac{E(w_1 + w_2)}{ww_1 + ww_2 + w_1 w_2} \cdot w + J_2 w_2 = E$$

so erhält man:

$$E(w_1+w_2)w+J_2w_2(ww_1+ww_2+w_1w_2) = E(ww_1+ww_2+w_1w_2)$$

oder:

$$J_2w_2(ww_1+ww_2+w_1w_2) = Eww_1+Eww_2+Ew_1w_2-Eww_1-Eww$$

oder:

$$J_2w_2 = \frac{Ew_1w_2}{ww_1+ww_2+w_1w_2}$$

woraus man für die Stromstärke J_2 im Zweige adb erhält:

$$\text{k}).\ .\ .\ J_2 = \frac{Ew_1}{ww_1+ww_2+w_1w_2}$$

Zur Berechnung des gesamten Widerstands W in diesem Stromkreis aus den gegebenen Widerständen w, w_1 und w_2 der einzelnen Teile des Stromkreises setzt man den Wert von J aus Gleichung h). in die das Ohmsche Gesetz ausdrückende Gleichung:

$$\text{l}).\ .\ .\ .\ .\ J = \frac{E}{W}$$

ein, wobei man erhält:

$$\frac{E}{W} = \frac{E(w_1+w_2)}{ww_1+ww_2+w_1w_2}$$

Daraus ergibt sich:

$$W = \frac{ww_1+ww_2+w_1w_2}{w_1+w_2}$$

oder:

$$W = \frac{w(w_1+w_2)+w_1w_2}{w_1+w_2}$$

mithin:

$$\text{m}).\ .\ .\ W = w+\frac{w_1w_2}{w_1+w_2}$$

Um aus den Zweigwiderständen w_1 und w_2 den Widerstand $w_{(1+2)}$ zu berechnen, welchen ein einziger Leiter haben muss, wenn derselbe statt der Zweigleiter acb und adb die Punkte a und b verbinden soll, ohne dass sich dabei die Stromstärke J im Teil bRa ändert, verfährt man wie folgt:

Der Widerstand $w_{(1+2)}$ des eben erwähnten Leiters und der Widerstand w des Teils bRa müssen zusammen gleich dem Gesamtwiderstand W des vorher verzweigten Stromkreises sein, also ist:

$$w+w_{(1+2)} = W$$

oder:

$$\text{n}).\ .\ .\ .\ W-w_{(1+2)} = w$$

Zieht man Gleichung n). von Gleichung m). ab, so ergibt sich:

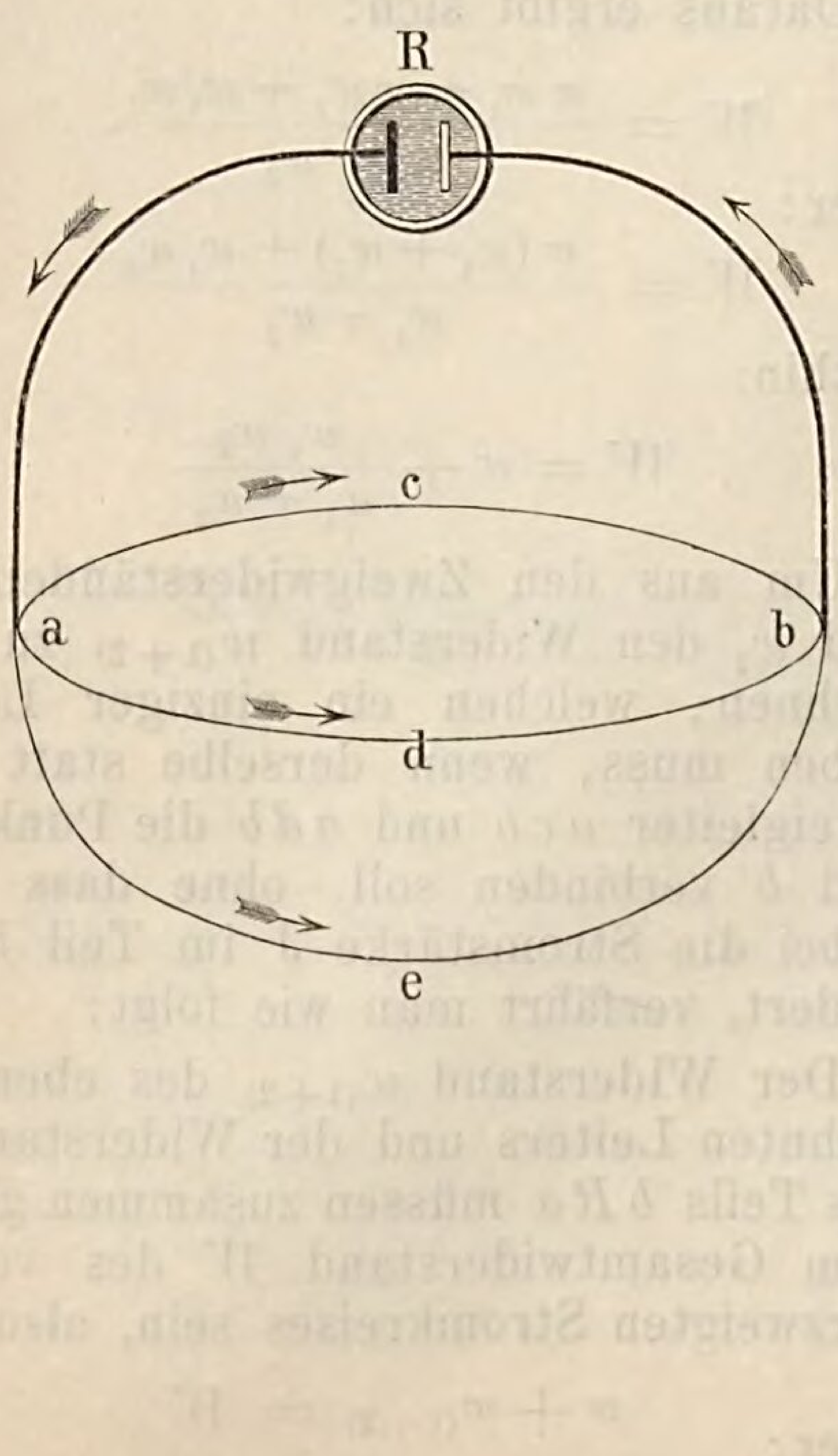
$$\text{o).} \quad \ldots \quad w_{(1+2)} = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}$$

Frage 350. Welche Form nimmt die in Antwort auf Frage 337 abgeleitete Gleichung:

$$J = \frac{E}{W}$$

durch welche das Ohmsche Gesetz ausgedrückt wird, an, wenn dasselbe auf einen doppelt verzweigten Stromkreis angewendet wird, welcher nur in einem Zweige elektromotorische Kräfte enthält, und welche Gleichung kann man zur Berechnung des Gesamtwiderstands aus den Zweigwiderständen aufstellen?

Figur 199.



Antwort. Ist, siehe Figur 199, ein doppelt verzweigter Stromkreis gegeben, in dessen einem Zweige sich der Rheomotor R von der elektromotorischen Kraft E befindet, und dessen Zweige acb, adb und aeb keine elektromotorischen Kräfte enthalten, und ist:

A). im Zweig bRa:
die zu berechnende Stromstärke $= J$,
der gegebene Widerstand $= w$,

B). im Zweig acb:
die zu berechnende Stromstärke $= J_1$,
der gegebene Widerstand $= w_1$,

C). im Zweig adb:
die zu berechnende Stromstärke $= J_2$,
der gegebene Widerstand $= w_2$,

D). im Zweig aeb:
die zu berechnende Stromstärke $= J_3$,
der gegebene Widerstand $= w_3$,

und bedeuten die Pfeile die Richtung des Stroms in diesem Stromkreis, so ist nach dem 2. Kirchhoffschen Satz (siehe Antwort auf Frage 348) in den Zweigen acb, adb und aeb, da für diese Zweige die gleiche Spannungsdifferenz, nämlich diejenige der Punkte a und b, besteht:

$$\text{a).} \quad \ldots \quad J_1 w_1 = J_2 w_2 = J_3 w_3$$

oder:

$$\text{b).} \quad \ldots \quad J_1 : J_2 : J_3 = \frac{1}{w_1} : \frac{1}{w_2} : \frac{1}{w_3}$$

[siehe in voriger Antwort die Gleichung b).].

In dem Kreis $RacbR$ ist nach dem 2. Kirchhoffschen Satz (siehe Antwort auf Frage 348):

$$\text{c).} \quad \ldots \quad Jw + J_1 w_1 = E$$

In dem Kreis $RadbR$ ist ebenso:

$$\text{d).} \quad \ldots \quad Jw + J_2 w_2 = E$$

In dem Kreis $RaebR$ ist ferner:

$$\text{e).} \quad \ldots \quad Jw + J_3 w_3 = E$$

Aus Gleichung c). ergibt sich:

$$\text{f).} \quad \ldots \quad J_1 w_1 = E - Jw$$

Aus Gleichung d). ergibt sich ebenso:

$$\text{g).} \quad \ldots \quad J_2 w_2 = E - Jw$$

Ferner aus Gleichung e).:

h). $J_3 w_3 = E - J w$

Aus den Gleichungen f)., g). und h). ergibt sich:

i). $J_1 = \frac{E - J w}{w_1}$

k). $J_2 = \frac{E - J w}{w_2}$

und

l). $J_3 = \frac{E - J w}{w_3}$

Um nun die Grössen $J\ J_1\ J_2\ J_3$ aus den gegebenen Widerständen $w\ w_1\ w_2\ w_3$ zu bestimmen, verfährt man wie folgt:

Nach dem 1. Kirchhoffschen Satz (siehe Antwort auf Frage 348) ist:

m). $J = J_1 + J_2 + J_3$

Zur Bestimmung der Stromstärke J in dem Teil *bRa* des Stromkreises setzt man die Werte von J_1, J_2 und J_3 aus den Gleichungen i)., k). und l). in Gleichung m). ein, wobei man erhält:

$$J = \frac{E - J w}{w_1} + \frac{E - J w}{w_2} + \frac{E - J w}{w_3}$$

oder:

$$J = \frac{(E - J w)\, w_2 w_3 + (E - J w)\, w_1 w_3 + (E - J w)\, w_1 w_2}{w_1 w_2 w_3}$$

oder:

$$J w_1 w_2 w_3 = E w_2 w_3 - J w w_2 w_3 + E w_1 w_3 - J w w_1 w_3 + E w_1 w_2 - J w w_1 w_2$$

oder:

$$J w_1 w_2 w_3 + J w w_2 w_3 + J w w_1 w_3 + J w w_1 w_2 = E w_2 w_3 + E w_1 w_3 + E w_1 w_2$$

oder:

$$J (w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3) = E (w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3)$$

woraus sich ergibt:

n). . . . $J = \frac{E (w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3)}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$

Zur Bestimmung der Stromstärke J_1 in dem Teil *acb* des Stromkreises setzt man den Wert von J aus Gleichung n). in Gleichung i). ein, wobei man erhält:

$$J = \frac{E - \frac{E (w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3)\, w}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}}{w_1}$$

oder:

$$J_1 = \frac{E w w_1 w_2 + E w w_1 w_3 + E w w_2 w_3 + E w_1 w_2 w_3 - E w w_1 w_2 - E w w_1 w_3 - E w w_2 w_3}{w_1 (w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3)}$$

oder:

$$J_1 = \frac{E w_1 w_2 w_3}{w_1 (w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3)}$$

woraus sich ergibt:

$$\text{o)}. \ldots \ldots J_1 = \frac{E w_2 w_3}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$$

Zur Bestimmung der Stromstärke J_2 in dem Teil *adb* des Stromkreises setzt man den Wert von J aus Gleichung n). in Gleichung k). ein, wobei man erhält:

$$J_2 = \frac{E - \dfrac{E (w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3) w}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}}{w_2}$$

oder:

$$J_2 = \frac{E w w_1 w_2 + E w w_1 w_3 + E w w_2 w_3 + E w_1 w_2 w_3 - E w w_1 w_2 - E w w_1 w_3 - E w w_2 w_3}{w_2 (w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3)}$$

oder:

$$J_2 = \frac{E w_1 w_2 w_3}{w_2 (w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3)}$$

woraus sich ergibt:

$$\text{p)}. \ldots \ldots J_2 = \frac{E w_1 w_3}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$$

Zur Bestimmung der Stromstärke J_3 in dem Teil *aeb* des Stromkreises setzt man den Wert von J aus Gleichung n). in Gleichung l). ein. Hierbei erhält man in derselben Weise, wie die Werte von J_1 und J_2 bestimmt wurden, für J_3 den Wert:

$$\text{q)}. \ldots \ldots J_3 = \frac{E w_1 w_2}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$$

Zur Bestimmung des Gesamtwiderstands *W* dieses Stromkreises aus den gegebenen Zweigwiderständen $w\, w_1\, w_2\, w_3$ setzt man den durch die Ohmsche Gleichung:

$$\text{r)}. \ldots \ldots J = \frac{E}{W}$$

gegebenen Wert von J in Gleichung n). ein, wobei man erhält:

$$\frac{E}{W} = \frac{E (w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3)}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$$

Daraus ergibt sich:

$$W = \frac{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$$

oder:

$$W = \frac{w (w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3) + w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$$

oder:

s). . . $W = w + \frac{w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$

Zur Bestimmung des Widerstands $w_{(1+2+3)}$, welchen ein einziger Leiter haben müsste, wenn dieser einzige Leiter an Stelle der drei Zweigleiter *acb*, *adb* und *aeb*, deren Widerstände $w_1 w_2 w_3$ sind, gesetzt würde, und wenn hierbei die Stromstärke des nunmehr einfachen Stromkreises gleich der Stromstärke J des Teils *bRa* des vorherigen verzweigten Stromkreises sein soll, also zur Bestimmung des Widerstands $w_{(1+2+3)}$ der drei parallelen Zweige *acb*, *adb* und *aeb*, verfährt man wie folgt:

Der eben erwähnte Widerstand $w_{(1+2+3)}$ und der Widerstand w des Teils *bRa* müssen zusammen gleich dem Gesamtwiderstand W des vorher verzweigten Stromkreises sein, also:

$$W = w + w_{(1+2+3)}$$

woraus also:

t). . . . $W - w_{(1+2+3)} = w$

Zieht man nun Gleichung t). von Gleichung s). ab, so erhält man:

u). . . $w_{(1+2+3)} = \frac{w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$

Anmerkung. Zur Aneignung von Sicherheit in der Anwendung der Kirchhoffschen Sätze auf mehrfach verzweigte Stromkreise mit elektromotorischen Kräften in nur einem Zweige wird dem Lernenden empfohlen, die Stromstärken und die Widerstände der parallelen Zweige für vierfach, fünffach etc. verzweigte Stromkreise zu bestimmen. Nach richtigem Verständnis der in obiger Antwort gegebenen Entwicklungen sind diese Bestimmungen nicht schwierig.

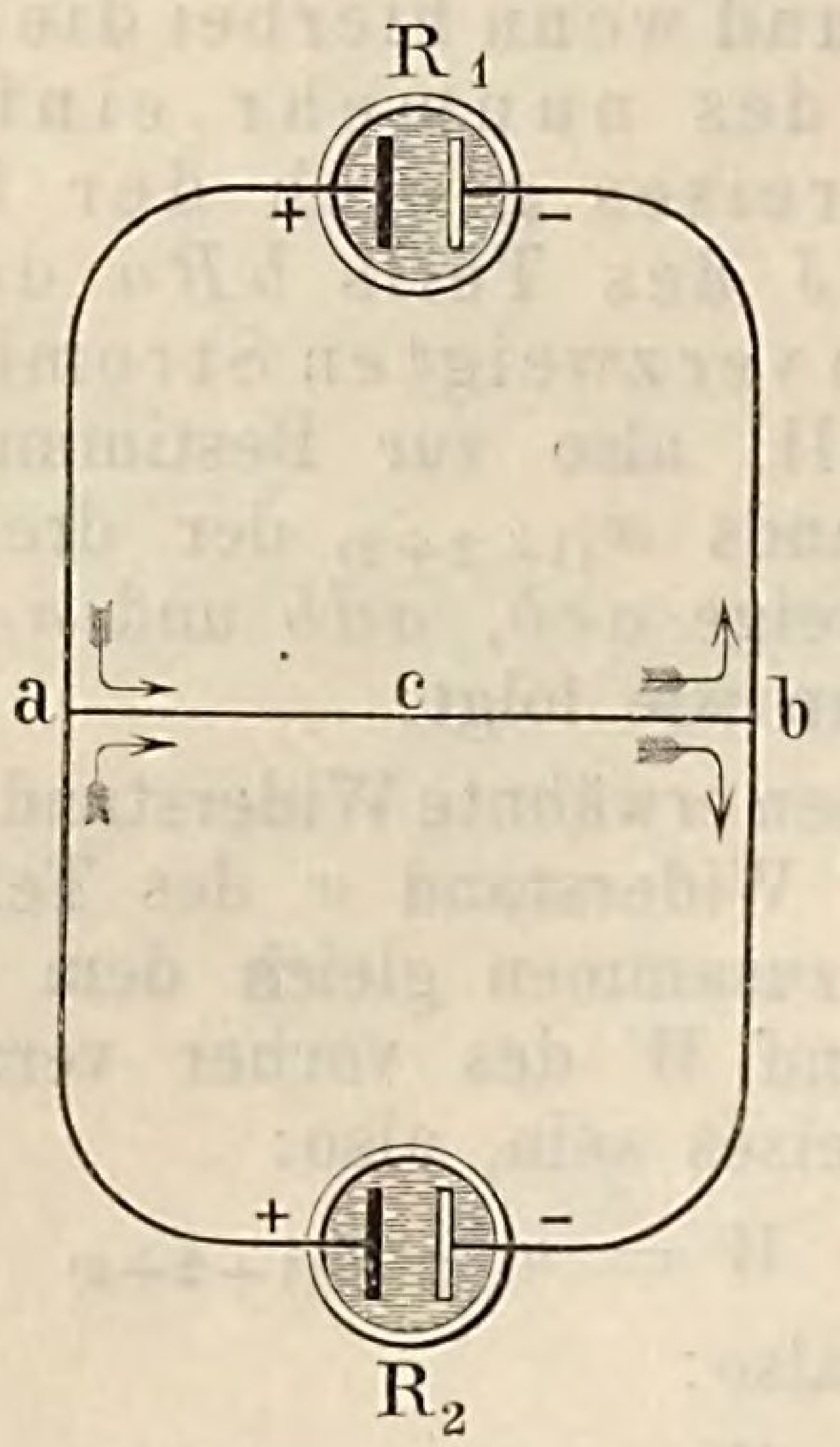
Frage 351. Wie kann man in einem einfach verzweigten Stromkreis, welcher in zwei Zweigen elektromotorische Kräfte besitzt, die Stromstärken in den Zweigen bestimmen, wenn die Widerstände der einzelnen Zweige und die elektromotorischen Kräfte gegeben sind?

Antwort. Ist, siehe Figur 200, ein einfach verzweigter Stromkreis gegeben, welcher in zwei Zweigen die galvanischen Elemente R_1 und R_2 mit den elektromotorischen Kräften E_1 bezw. E_2 hat, und bezeichnet man:

im Zweig bR_1a:
die zu bestimmende Stromstärke mit J_1,
den gegebenen Widerstand mit w_1,

im Zweig bR_2a:
die zu bestimmende Stromstärke mit J_2,
den gegebenen Widerstand mit w_2,

Figur 200.



im Zweig acb:
die zu bestimmende Stromstärke mit J,
den gegebenen Widerstand mit w,

und sind nun

1). Die Elemente derart eingeschaltet, dass, wie dies in Figur 200 dargestellt ist, die beiden positiven (+) Pole durch einen Leiter $R_1 a R_2$ und die beiden negativen (—) Pole durch einen Leiter $R_1 b R_2$ verbunden sind, dass also die Elemente sich nach Antwort auf Frage 138 unter 2). in Parallelschaltung befinden, so ist nach dem 2. Kirchhoffschen Satz (siehe Antw. auf Frage 348) für den Kreis $R_1 acb R_1$:

a). . . . $E_1 = J_1 w_1 + J w$

und für den Kreis $R_2 acb R_2$:

b). . . . $E_2 = J_2 w_2 + J w$

Ferner ist nach dem 1. Kirchhoffschen Satz (siehe Antwort auf Frage 348):

c). . . . $J = J_1 + J_2$

Um nun die gesuchte Stromstärke J in den gegebenen Widerständen w, w_1 und w_2 zu bestimmen, setzt man den sich aus Gleichung a). ergebenden Wert von J_1:

$$J_1 = \frac{E_1 - J w}{w_1}$$

und den sich aus Gleichung b). ergebenden Wert von J_2:

$$J_2 = \frac{E_2 - J w}{w_2}$$

in Gleichung c). ein, wobei man erhält:

$$J = \frac{E_1 - J w}{w_1} + \frac{E_2 - J w}{w_2}$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$J w_1 w_2 = E_1 w_2 - J w w_2 + E_2 w_1 - J w w_1$$

oder:

$$J w_1 w_2 + J w w_2 + J w w_1 = E_1 w_2 + E_2 w_1$$

oder:

$$J (w w_1 + w w_2 + w_1 w_2) = E_1 w_2 + E_2 w_1$$

Daraus ergibt sich:

d). . . $J = \frac{E_1 w_2 + E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

Zur Bestimmung der gesuchten Stromstärke J_1 in den gegebenen Widerständen $w\, w_1\, w_2$ setzt man den

Wert von J aus Gleichung d). in Gleichung a)., wobei man erhält:

$$E_1 = J_1 w_1 + \frac{(E_1 w_2 + E_2 w_1) w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

Daraus ergibt sich:

$$J_1 w_1 = E_1 - \frac{(E_1 w_2 + E_2 w_1) w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

oder:

$$J_1 = \frac{E_1 w w_1 + E_1 w w_2 + E_1 w_1 w_2 - E_1 w w_2 - E_2 w w_1}{w_1 (w w_1 + w w_2 + w_1 w_2)}$$

oder:

$$J_1 = \frac{E_1 w w_1 + E_1 w_1 w_2 - E_2 w w_1}{w_1 (w w_1 + w w_2 + w_1 w_2)}$$

woraus sich ergibt:

$$\text{e}). \quad . \quad . \quad J_1 = \frac{E_1 (w + w_2) - E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

Zur Bestimmung der gesuchten Stromstärke J_2 in den gegebenen Widerständen $w\ w_1\ w_2$ setzt man in gleicher Weise den Wert von J aus Gleichung d). in Gleichung b). ein, wobei man erhält:

$$E_2 = J_2 w_2 + \frac{(E_1 w_2 + E_2 w_1) w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

Daraus folgt:

$$J_2 = \frac{E_2 w w_1 + E_2 w w_2 + E_2 w_1 w_2 - E_1 w w_2 - E_2 w w_1}{w_2 (w w_1 + w w_2 + w_1 w_2)}$$

mithin:

$$\text{f}). \quad . \quad . \quad J_2 = \frac{E_2 (w + w_1) - E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

Ist in Gleichung e).:

$$E_1 (w + w_2) = E_2 w$$

so ist $J_1 = 0$,

oder ist in Gleichung f).:

$$E_2 (w + w_1) = E_1 w$$

so ist $J_2 = 0$,

d. h. in diesen beiden Fällen geht durch den Zweig $b R_1 a$ bezw. $b R_2 a$ kein Strom.

2). Sind die beiden Elemente, welche in der unter 1). bezeichneten Weise geschaltet sind, von gleicher Art, d. h. also, ist $E_1 = E_2$, so geht Gleichung d)., durch welche die Stromstärke J in dem Zweig acb ausgedrückt wird, über in:

$$J = \frac{E_1 (w_1 + w_2)}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

oder:

$$J = \frac{E_1}{\frac{w(w_1 + w_2) + w_1 w_2}{w_1 + w_2}}$$

oder:

$$\text{g). . . } J = \frac{E_1}{\frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2} + w}$$

Zur Bestimmung des Gesamtwiderstands W in diesem Stromkreis setzt man den durch die Ohmsche Gleichung für den Zweig acb gegebenen Wert von J:

$$J = \frac{E_1}{W}$$

in Gleichung g). ein, wobei man erhält:

$$\frac{E_1}{W} = \frac{E_1}{\frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2} + w}$$

Daraus ergibt sich:

$$\text{h). . . . } W = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2} + w$$

Um aus dieser Gleichung h)., welche den Gesamtwiderstand dieses Stromkreises ausdrückt, den Wert des Widerstands $w_{(1+2)}$ der beiden parallelen Zweige bR_1a und bR_2a, welche die Elemente enthalten, zu bestimmen, verfährt man wie folgt:

Nach Gleichung n). in Antwort auf Frage 349 ist:

$$\text{i). . . . } W - w_{(1+2)} = w$$

Zieht man nun Gleichung i). von Gleichung h). ab, so ergibt sich:

$$\text{k). . . . } w_{(1+2)} = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}$$

[siehe auch Gleichung o). in Antw. auf Frage 349].

3). Ist in dem unter 2). bezeichneten Stromkreis $w_1 = w_2$, d. h., hat man zwei parallel geschaltete Elemente von gleicher elektromotorischer Kraft E_1 und ist der Widerstand dieser Elemente nebst ihren Zweigleitungen einander gleich, d. h. ist der Widerstand des Zweiges bR_1a gleich dem Widerstand des Zweiges bR_2a, so geht Gleichung g). über in:

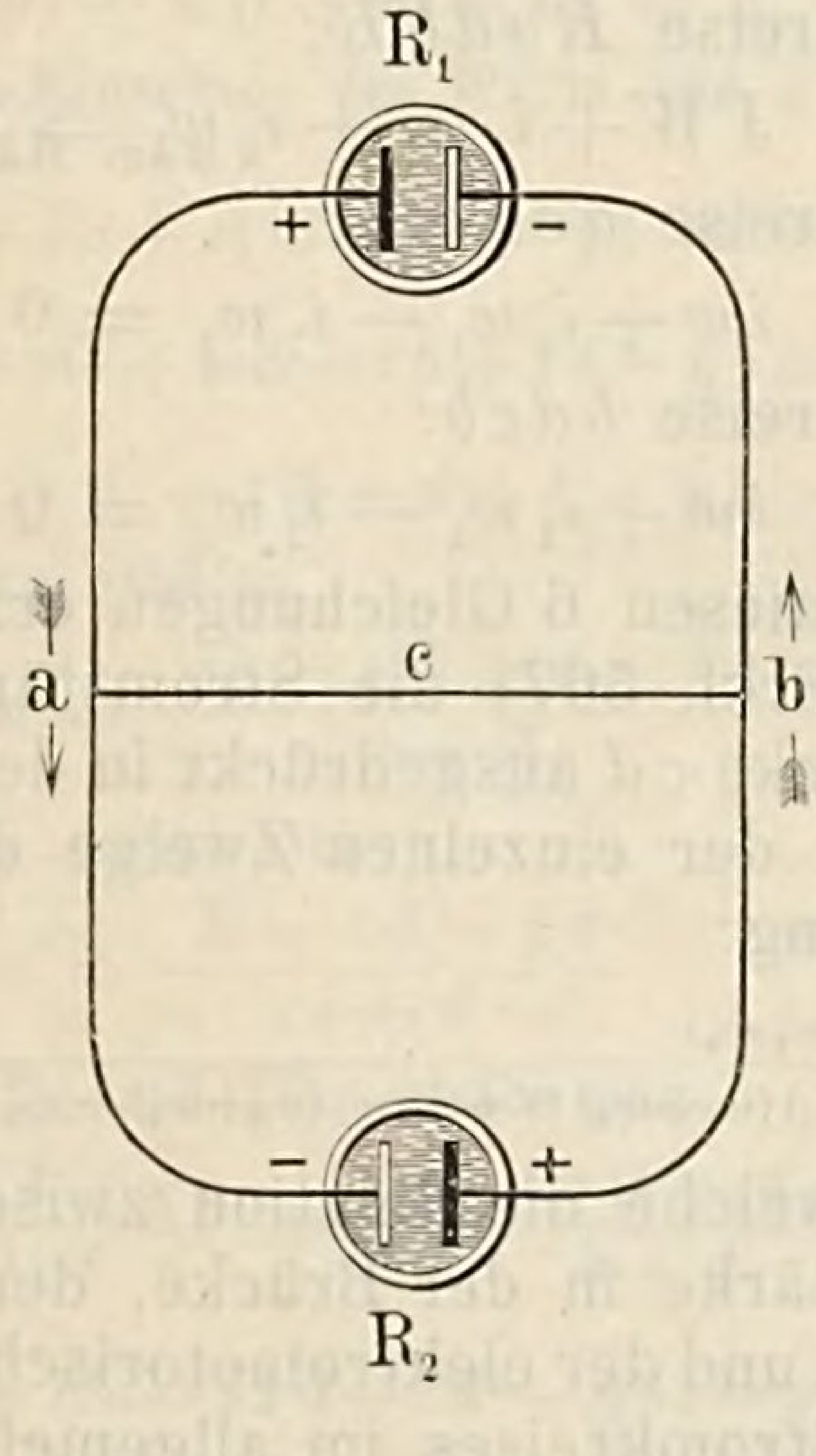
$$J = \frac{E_1}{\frac{w_1 w_1}{w_1 + w_1} + w}$$

oder:

Erkl. 566. In bezug auf nebenstehende Gleichung m). ist folgendes zu bemerken:

Werden Elemente miteinander verbunden, so geschieht dies mittels Leitungsstreifen oder mittels möglichst kurzer und dicker Leitungsdrähte (siehe Antwort auf Frage 25), welche nur einen sehr geringen Leitungswiderstand besitzen. w_1 ist somit der wesentliche Widerstand eines der beiden in nebenstehender Antwort unter 3). bezeichneten parallel geschalteten Elemente, $\frac{w_1}{2}$ der gemeinsame wesentliche Widerstand der beiden parallel geschalteten Elemente, und w der äussere Widerstand des Stromkreises dieser Elemente (siehe Antwort auf Frage 338).

Figur 201.



l). $J = \frac{E_1}{\frac{w_1}{2} + w}$

Diese Gleichung l). in Worte gesetzt, heisst:

„Zwei parallel geschaltete Elemente von der elektromotorischen Kraft $= E_1$ und dem Widerstand $= w_1$ ergeben in dem gemeinsamen Teil des Stromkreises (in acb, siehe Figur 200) dieselbe Stromstärke, wie ein einziges Element vom halben Widerstand $\frac{w_1}{2}$, d. h. von doppelter Grösse, was somit in Uebereinstimmung mit dem in Antwort auf Frage 342 Gesagten ist (siehe Erkl. 566).

4). Sind die beiden Elemente derart geschaltet, dass der positive Pol des Elements R_1, siehe Figur 201, mit dem negativen Pol von R_2 durch den Leiter $R_1\,a\,R_2$, und der negative Pol von R_1 mit dem positiven Pol von R_2 durch den Leiter $R_1\,b\,R_2$ verbunden ist, befinden sich also die beiden Elemente in Hintereinanderschaltung, so wirkt die elektromotorische Kraft von R_2 nunmehr in entgegengesetzter Richtung, sie ist also jetzt $= -E_2$ und Gleichung d). geht infolgedessen über in:

$$J = \frac{E_1 w_2 - E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

Sind in diesem Falle die elektromotorischen Kräfte E_1 und E_2 den bezüglichen Zweigwiderständen w_1 und w_2 proportional, ist also:

$$E_1 : E_2 = w_1 : w_2$$

oder:

$$E_1 w_2 = E_2 w_1$$

so wird in diesem Fall die Stromstärke J in dem Zweig acb gleich 0, d. h. durch diesen Zweig geht alsdann kein Strom.

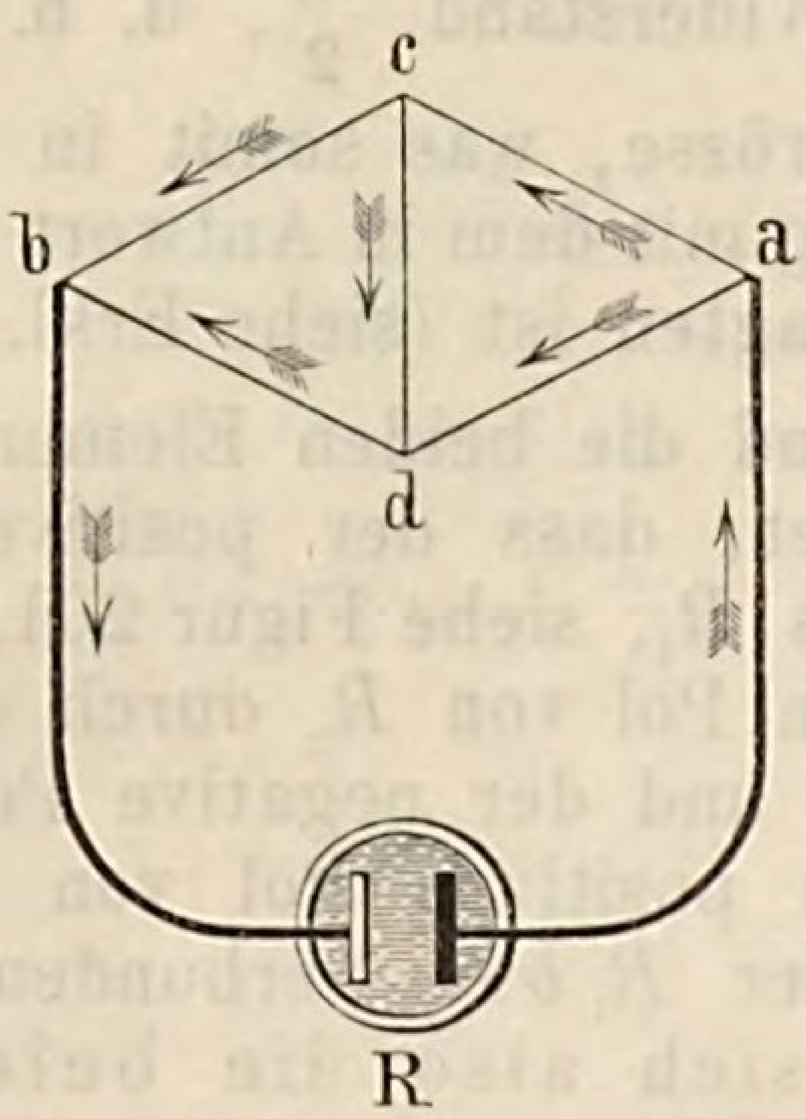
Sind daher die beiden Elemente von gleicher Art, d. h. besitzen dieselben gleiche elektromotorische Kräfte, ist sonach $E_1 = E_2$, so geht kein Strom durch den Zweig acb, wenn $w_1 = w_2$ ist.

Frage 352. Welche Relation besteht zwischen der Stromstärke in der Brücke, der elektromotorischen Kraft und den

Antwort. Ist, siehe Figur 202, cd die Brücke in der in dieser Figur dar-

Widerständen eines Stromkreises mit Brückenverzweigung, und welche Beziehung kann man daraus für die Zweigwiderstände eines solchen Stromkreises ableiten für den Fall, dass die Stromstärke in der Brücke = 0 ist?

Figur 202.



gestellten Brückenverzweigung, und soll die Stromstärke in der Brücke aus den Widerständen der sämtlichen Zweige bestimmt werden, und bezeichnet man

	die unbekannte Stromstärke	den bekannten Widerstand
im Zweig cd mit	i	w
„ „ bRa „	J	W
„ „ ac „	i_1	w_1
„ „ cb „	i_2	w_2
„ „ ad „	i_3	w_3
„ „ bd „	i_4	w_4

so ist nach dem 1. Kirchhoffschen Satz (siehe Antwort auf Frage 348):

a). . . $J - i_2 - i_4 = 0$

b). . . $i_1 - i - i_2 = 0$

c). . . $i_3 + i - i_4 = 0$

und nach dem 2. Kirchhoffschen Satz (siehe Antwort auf Frage 348):

im Kreise $RadbR$:

d). . . $JW + i_3 w_3 + i_4 w_4 = E$

im Kreise $acda$:

e). . . $iw + i_1 w_1 - i_3 w_3 = 0$

im Kreise $bdcb$:

f). . . $iw + i_4 w_4 - i_2 w_2 = 0$

Aus diesen 6 Gleichungen erhält man (siehe Erkl. 567) die Stromstärke i in der Brücke cd ausgedrückt in den Widerständen der einzelnen Zweige durch die Gleichung:

$$\text{g). . . } i = \frac{E(w_2 w_3 - w_1 w_4)}{w[(w_1+w_2+w_3+w_4)W + (w_1+w_2)(w_3+w_4)] + (w_1+w_3)(w_2+w_4)W + w_1 w_2 (w_3+w_4) + w_3 w_4 (w_1+w_2)}$$

durch welche die Relation zwischen der Stromstärke in der Brücke, den Widerständen und der elektromotorischen Kraft dieses Stromkreises im allgemeinen ausgedrückt ist.

Soll nun die Stromstärke i in der Brücke $cd = 0$ sein, so muss in Gleichung g).:

h). . . $w_1 w_4 = w_2 w_3$

oder:

i). . . $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$ sein.

Ist nun $w_1 = w_2$, so geht Gleich. h). über in:

k). . . $w_3 = w_4$

oder auch, wenn $w_1 = w_3$ ist, in:

l). . . $w_2 = w_4$ (siehe Erkl. 568).

Erkl. 567. Die in nebenstehender Antwort aufgestellte Gleichung g). kann man ableiten wie folgt:

Bezeichnet man der Uebersichtlichkeit wegen die nebenstehend erwähnten

unbekannten Stromstärken und gegebenen Widerstände

i_1	mit u	w_1	mit a
i_2	„ v	w_2	„ b
i_3	„ w	w_3	„ c
i_4	„ x	w_4	„ d
J	„ y	W	„ e
i	„ z	w	„ f

so gehen nebenstehende Gleichungen a). bis f). über in:

1). $y - v - x = 0$

2). $u - z - v = 0$

3). $w + z - x = 0$

4). $ye + wc + xd = E$

5). $zf + ua - wc = 0$

6). $zf + xd - vb = 0$

Um nun zunächst die Unbekannten u bis y zu eliminieren, setzt man den sich aus 1). ergebenden Wert für v:

7). $v = y - x$

in 2). und 6). ein, woraus sich ergibt:

8). $u - z + x - y = 0$

und

$$zf + xd - (y - x)b = 0$$

oder:

$$zf + xd - yb + xb = 0$$

oder:

9). . . $zf + x(b + d) - yb = 0$

Ferner ergibt sich aus 3).:

10). $x = w + z$

Durch Einsetzen des Werts von x aus 10). in 4). erhält man:

$$ye + wc + (w + z)d = E$$

oder:

$$ye + wc + wd + zd = E$$

oder:

11). . . $ye + w(c + d) + zd = E$

und durch Einsetzen des Werts von x aus 10). in 9). erhält man:

$$zf + (w + z)(b + d) - yb = 0$$

oder:

$$zf + wb + wd + zb + zd - yb = 0$$

oder:

$$w(b + d) + z(b + d + f) - yb = 0$$

woraus man erhält:

12). . . $w = \frac{yb - z(b + d + f)}{b + d}$

Aus 11). ergibt sich:

13). . . $w = \frac{E - zd - ye}{c + d}$

und aus 12). und 13). erhält man:

$$\frac{E - zd - ye}{c + d} = \frac{yb - z(b + d + f)}{b + d}$$

oder:

$$Eb + Ed - zbd - zd^2 - ybe - yde = ybc + ybd - zbc - zbd - zcd - zd^2 - zcf - zdf$$

Hieraus erhält man durch Weglassung der gleichen Werte auf beiden Seiten dieser Gleichung:

$$Eb + Ed - ybe - yde = ybc + ybd - zbc - zcd - zcf - zd$$

oder:

$$E(b + d) - y(be + de + bc + bd) = -z(bc + cd + cf + df)$$

oder:

14). $E(b + d) + z(bc + cd + cf + df) = y(be + de + bc + bd)$

Addiert man nun:

8). . . $u - z + x - y = 0$

und

3). . . $w + z - x = 0$

so erhält man:

$$u + w - y = 0$$

woraus sich ergibt:

Die Gleichung h). kann man auch ableiten wie folgt:

Nach dem 1. Kirchhoffschen Satz (siehe Antwort auf Frage 348) ist:

$$i_1 = i + i_2$$
$$i_4 = i + i_3$$

und nach dem 2. Kirchhoffschen Satz ist:

$$i_1 w_1 + iw - i_3 w_3 = 0$$
$$i_4 w_4 + iw - i_2 w_2 = 0$$

Angenommen nun, es fliesse durch die Brücke cd, siehe Figur 202, kein Strom, d. h. i sei $= 0$, so gehen diese Gleichungen über in:

m). $i_1 = i_2$

n). $i_3 = i_4$

$$i_1 w_1 = i_3 w_3$$

oder:

o). $\frac{i_1}{i_3} = \frac{w_3}{w_1}$

und

$$i_2 w_2 = i_4 w_4$$

oder:

p). $\frac{i_2}{i_4} = \frac{w_4}{w_2}$

Da nun nach m). und n).:

$$\frac{i_1}{i_3} = \frac{i_2}{i_4}$$

ist, so ist auch nach o). und p).:

$$\frac{w_3}{w_1} = \frac{w_4}{w_2}$$

mithin:

$$w_1 w_4 = w_2 w_3$$

übereinstimmend mit Gleichung h). als Bedingung für den hier angenommenen Fall, dass die Brücke cd „stromlos“ sein soll.

15). $u = y - w$

was übrigens auch nach dem 1. Kirchhoffschen Satz aus Figur 202 hervorgeht.

Setzt man den Wert von u aus 15). in 5). ein, so erhält man:

$$zf + (y - w)\,a - wc = 0$$

oder:

$$zf + ya - wa - wc = 0$$

oder:

$$zf + ya - w\,(a + c) = 0$$

Hieraus ergibt sich:

16). $w = \dfrac{zf + ya}{a + c}$

Aus 13). und 16). erhält man:

$$\frac{E - zd - ye}{c + d} = \frac{zf + ya}{a + c}$$

oder:

$$Ea + Ec - zad - zcd - yae - yce = zcf + zdf + yac + yad$$

oder:

17). $E\,(a + c) - z\,(ad + cd + cf + df) = y\,(ae + ce + ac + ad)$

Dividiert man 17). durch 14)., so erhält man:

18). $\dfrac{E\,(a + c) - z\,(ad + cd + cf + df)}{E\,(b + d) + z\,(bc + cd + cf + df)} = \dfrac{y\,(ae + ce + ac + ad)}{y\,(be + de + bc + bd)}$

In dieser Gleichung kann man y streichen, so dass dieselbe nur noch die eine Unbekannte z, d i. die gesuchte Stromstärke in der Brücke, enthält. Um nun aus 18). z zu bestimmen, multipliziert man diese Gleichung mit ihrem Generalnenner, woraus sich ergibt:

$$E\,(a + c)\,[(b + d)\,e + (c + d)\,b] - z\,[(a + c)\,d + f\,(c + d)]\,[(b + d)\,e + (c + d)\,b] =$$
$$= [(a + c)\,e + (c + d)\,a]\,[(b + d)\,E + z\,(b + d)\,c + z\,(c + d)\,f]$$

oder:

$$E\,(a + c)\,(b + d)\,e + E\,(a + c)\,(c + d)\,b - z\,[(a + c)\,(b + d)\,de +$$
$$+ (c + d)\,(b + d)\,ef + (a + c)\,(c + d)\,bd + (c + d)^2\,bf] =$$
$$= [(a + c)\,(b + d)\,eE + (c + d)\,(b + d)\,aE + (a + c)\,(b + d)\,ce +$$
$$+ (c + d)\,(b + d)\,ac + (a + c)\,(c + d)\,ef + (c + d)^2\,af]\,z$$

In dieser Gleichung kann man auf beiden Seiten den Wert $E\,(a + c)\,(b + d)\,e$ streichen. Ordnet man alsdann dieselbe nach E einerseits und nach z andererseits, so erhält man:

19). $E\,(a + c)\,(c + d)\,b - E\,(c + d)\,(b + d)\,a =$

$$= z\,[(a + c)\,(b + d)\,de + (c + d)\,(b + d)\,ef +$$
$$+ (a + c)\,(c + d)\,bd + (c + d)^2\,bf + (a + c)\,(b + d)\,ce +$$
$$+ (c + d)\,(b + d)\,ac + (a + c)\,(c + d)\,ef + (c + d)^2\,af]$$

Da nun in dieser Gleichung:

$$(a + c)\,(b + d)\,de + (a + c)\,(b + d)\,ce =$$
$$= (a + c)\,(b + d)\,(de + ce)$$

oder:

$$= (a + c)\,(b + d)\,(c + d)\,e \text{ ist,}$$

so folgt aus 19).:

$$E\,[(a + c)\,b - (b + d)\,a]\,(c + d) = z\,[(a + c)\,(b + d)\,(c + d)\,e$$
$$+ (c + d)\,(b + d)\,ef + (a + c)\,(c + d)\,bd + (c + d)^2\,bf +$$
$$+ (c + d)\,(b + d)\,ac + (a + c)\,(c + d)\,ef + (c + d)^2\,af]$$

und wenn man diese Gleichung mit $c+d$ dividiert, so ergibt sich:

$$20).\quad E\left[(a+c)b-(b+d)a\right] = z\left[(a+c)(b+d)e + (b+d)ef + (a+c)bd + (c+d)bf + (b+d)ac + (a+c)ef + (c+d)af\right]$$

und, da:

$$(a+c)b-(b+d)a = bc-ad$$

so folgt aus 20).:

$$\frac{E(bc-ad)}{z} = abe+ade+bce+cde+bef+def+abd+bcd+bcf+bdf+abc+acd+aef+cef+acf+adf$$

oder, wenn man diese Gleichung nach f und e ordnet:

$$21).\quad \frac{E(bc-ad)}{z} = f(be+de+bc+bd+ae+ce+ac+ad) + e(ad+bc+cd+ab) + ab(c+d)+cd(a+b)$$

Da nun:

$$bc+bd+ac+ad = b(c+d)+a(c+d)$$

oder:

$$= (c+d)(a+b) \text{ ist,}$$

und

$$ad+bc+cd+ab = a(b+d)+c(b+d)$$

oder:

$$= (a+c)(b+d) \text{ ist,}$$

so ergibt sich aus 21).:

$$\frac{E(bc-ad)}{z} = f\left[(a+b+c+d)e+(a+b)(c+d)\right] + (a+c)(b+d)e+ab(c+d)+cd(a+b)$$

und hieraus folgt:

$$22).\quad z = \frac{E(bc-ad)}{f\left[(a+b+c+d)e+(a+b)(c+d)\right]+(a+c)(b+d)e+ab(c+d)+cd(a+b)}$$

Setzt man nun in 22). die erwähnten Bezeichnungen für die Stromstärke in der Brücke und für die Widerstände ein, so erhält man die in nebenstehender Antw. gegebene Gleichung g).:

$$i = \frac{E(w_2 w_3 - w_1 w_4)}{w\left[(w_1+w_2+w_3+w_4)W+(w_1+w_2)(w_3+w_4)\right]+(w_1+w_3)(w_2+w_4)W+w_1 w_2(w_3+w_4)+w_3 w_4(w_1+w_2)}$$

was zu beweisen war.

Erkl. 568. Die in nebenstehender Antwort abgeleitete Bedingungsgleichung 2). für den Fall, dass die Brücke cd, siehe Figur 202, stromlos ist, bildet die Grundlage für die Wheatstonesche Brückenmethode zur Messung des Leitungswiderstands. Ausführliches darüber findet man im folgenden Abschnitt.

5). Ueber die Messung des Leitungswiderstands.

A). Ueber die Gesetze des Leitungswiderstands.

Frage 353. Welches sind die wichtigsten Gesetze bezüglich des Leitungswiderstands und durch welche Gleichungen kann man diese Gesetze ausdrücken?

Erkl. 569. Bezüglich der gebräuchlichen Widerstandseinheiten siehe Antw. auf Frage 356.

Antwort. Die wichtigsten Gesetze bezüglich des Leitungswiderstands sind die folgenden:

1). Der Leitungswiderstand eines Körpers ist direkt proportional der Länge des Weges, welchen der elektrische Strom in diesem Körper zurücklegt.

2). Der Leitungswiderstand ist umgekehrt proportional dem Querschnitt des Körpers.

3). Der Leitungswiderstand ist abhängig von der Natur der Körper (siehe Antwort auf Frage 192).

Bezeichnet man die Länge eines Leiters, z. B. eines Drahts, mit l, den Leitungswiderstand desselben mit W, die Länge eines zweiten Leiters von gleichem Querschnitt und aus demselben Stoff mit l_1 und den Leitungswiderstand dieses zweiten Leiters mit w, so besteht hiernach die Relation:

a). $W : w = l : l_1$

Bezeichnet man mit q den Querschnitt dieser beiden Leiter, mit q_1 den Querschnitt eines dritten Leiters aus demselben Stoff, dessen Länge gleich der des zweiten, also l_1 ist, und den Leitungswiderstand desselben mit W_1, so besteht ferner die Relation:

b). $w : W_1 = q_1 : q$

Durch Multiplikation der Proportionen a). und b). erhält man:

$$Ww : w W_1 = l q_1 : l_1 q$$

oder:

c). $W : W_1 = \frac{l}{q} : \frac{l_1}{q_1}$

wodurch obiges Gesetz ausgedrückt wird.

Nimmt man den Leitungswiderstand W_1 des oben erwähnten dritten Leiters, welcher der Einheit der Länge $= l_1$ und der Einheit des Querschnitts $= q_1$ dieses betreffenden Körpers entspricht, als Einheit des Leitungswiderstands dieses Körpers an, so ergibt sich aus Gleichung c). die Relation:

d). $W = \frac{l}{q}$ Widerstandseinheiten (siehe Erkl. 569).

Frage 354. Was versteht man unter dem Leitungsvermögen eines Körpers, welche Gesetze bestehen in bezug auf dasselbe, und welche Beziehungen bestehen zwischen dem Leitungsvermögen und dem Leitungswiderstand?

Erkl. 570. Das spezifische Leitungsvermögen der Körper (siehe Antwort auf Frage 195) wird gewöhnlich auf das Leitungsvermögen des Quecksilbers bei 0^0 Celsius als Einheit bezogen. Setzt man das Leitungsvermögen des Quecksilbers bei 0^0 Celsius = 1, so ist nach *Kohlrausch* bei 18^0 Celsius das spezifische Leitungsvermögen von

Antimon	=	2
Blei	=	4,6
Eisen	=	8,0
Gaskohle	=	0,02
Gold	=	41
Kupfer	=	54
Messing	=	13
Neusilber	=	4
Platin	=	7
Quecksilber	=	0,984
Silber	=	59
Wismut	=	0,8
Zink	=	15
Zinn	=	8

(siehe Erkl. 571).

Die Zahlen dieser Tabelle geben somit an, wieviel mal grösser bei 18^0 Celsius das Leitungsvermögen eines der angegebenen Körper als das einer Quecksilbersäule von gleicher Länge und gleichem Querschnitt bei 0^0 C. ist.

Erkl. 571. Der Widerstand der Leiter erster Klasse nimmt nach Erkl. 277 und Antwort auf Frage 208 bei der Temperaturerhöhung zu, und zwar für jeden Grad Celsius:

bei reinen Metallen	um etwa	0,004
bei Neusilber	um	0,0003 bis 0,0006
bei Quecksilber	um	0,0009

Die angegebenen Zahlen nennt man die Temperaturkoefficienten der betreffenden Leiter. Bezeichnet man diesen Koefficienten allgemein mit α, den Leitungswiderstand eines Körpers bei 0^0 Celsius mit w_0, so ist der Leitungswiderstand w_1 dieses Körpers bei 1^0 Cels.:

$$w_1 = w_0 + \alpha w_0$$

der Widerstand w_2 bei 2^0 Celsius:

$$w_2 = w_0 + 2\alpha w_0$$

und der Widerstand w_t bei t^0 Celsius:

$$w_t = w_0 + t\alpha w_0$$

oder:

$$\text{a).} \quad w_t = w_0 (1 + t\alpha)$$

Setzt man z. B. den Widerstand w_0 des Quecksilbers bei 0^0 Celsius = 1, so ist der Widerstand w_t bei 18^0 Cels. nach Gleichung a).:

Antwort. Unter dem Leitungsvermögen oder der Leitungsfähigkeit eines Körpers versteht man die Fähigkeit dieses Körpers, den elektrischen Strom fortzuleiten.

In bezug auf das Leitungsvermögen bestehen folgende Gesetze:

1). Das Leitungsvermögen eines Körpers ist abhängig von der Natur des Körpers.

2). Das Leitungsvermögen ist direkt proportional dem Querschnitt des betreffenden Körpers, und umgekehrt proportional der Länge des Wegs, welchen der elektrische Strom in dem betreffenden Körper zurücklegt.

Bezeichnet man die Länge eines Leiters mit l, den Querschnitt desselben mit q, das Leitungsvermögen mit F, bezeichnet man ferner die Länge eines zweiten Leiters aus demselben Stoff mit l_1, dessen Querschnitt mit q_1, und das Leitungsvermögen desselben mit F_1, so erhält man, analog der in voriger Antwort angestellten Betrachtung, die Relation:

$$\text{a).} \quad F : F_1 = \frac{q}{l} : \frac{q_1}{l_1}$$

Nimmt man das Leitungsvermögen F_1 jenes zweiten Leiters, dessen Länge $l_1 = 1$ (d. h. gleich der Längeneinheit) und dessen Querschnitt $q_1 = 1$ (d. h. gleich der Flächeneinheit) ist, als Einheit des Leitungsvermögens an, so ergibt sich aus Gleichung a). die Relation:

$$\text{b).} \quad F = \frac{q}{l} \text{ Einheiten des Leitungsvermögens}$$

Setzt man daher in die in voriger Antwort aufgestellte Gleichung d).:

$$W = \frac{l}{q} \text{ Widerstandseinheiten}$$

nach obiger Gleichung b).:

$$q = F \cdot l \text{ Flächeneinheiten}$$

ein, so erhält man:

$$\text{c).} \quad W = \frac{1}{F} \text{ Widerstandseinheiten}$$

und

$$\text{d).} \quad F = \frac{1}{W} \text{ Einheiten des Leitungsvermögens}$$

$$w_t = 1\,(1 + 18 \,.\, 0{,}0009)$$

d. i.:

$$w_t = 1{,}0162$$

Um nun das Leitungsvermögen F des Quecksilbers bei 18⁰ Celsius, bezogen auf dasjenige des Quecksilbers bei 0⁰ Celsius, zu berechnen, setzt man nach Gleichung d). in nebenstehender Antwort:

$$F = \frac{1}{w_t} \text{ oder } = \frac{1}{1{,}0162}$$

d. i.:

$$F = 0{,}984$$

welcher Wert mit dem in voriger Erklärung angegebenen Wert übereinstimmt.

Die Gleichung d). oder e). in Worte gesetzt, heisst:

Der Wert des Leitungsvermögens eines Körpers ist der reciproke Wert des Leitungswiderstands dieses Körpers (siehe Erklärung 570).

Frage 355. Welche Form nimmt nach voriger Antwort die Gleichung:

$$J = \frac{E}{W}$$

welche das Ohmsche Gesetz ausdrückt, an, wenn man in dieselbe statt des Leitungswiderstands das Leitungsvermögen einführt?

Erkl. 571ᵃ. Aus der in Antwort auf Frage 349 abgeleiteten Gleichung b). geht hervor, dass im verzweigten Stromkreis in parallelen Zweigen, welche keine elektromotorischen Kräfte enthalten, die Stromstärken den Leitungsfähigkeiten dieser Zweige direkt proportional sind (siehe auch die Erkl. 564 und 565).

Antwort. Da nach voriger Antwort zwischen dem Leitungsvermögen F und dem Leitungswiderstand W die Relation:

a). $W = \frac{1}{F}$

besteht, so kann man die in Antwort auf Frage 337 abgeleitete Gleichung

b). $J = \frac{E}{W}$

welche das Ohmsche Gesetz ausdrückt, durch Einsetzung des Wertes von W aus Gleichung a). in Gleichung b). durch die Gleichung

c). $J = EF$

ausdrücken, d. h.:

„Die Stromstärke in einem (unverzweigten) Stromkreis ist gleich dem Produkt aus der in diesem Stromkreis wirkenden elektromotorischen Kraft und dem gesamten Leitungsvermögen dieses Stromkreises“ (siehe Erkl. 471a).

B). Ueber die Masseinheiten des Leitungswiderstands.

Frage 356. Welches sind die gebräuchlichsten Masseinheiten des Leitungswiderstands?

Antwort. Die gebräuchlichsten Masseinheiten des Leitungswiderstands sind:

1). Die Siemenssche Quecksilbereinheit (siehe Antwort auf Frage 357);

2). Das Ohm (siehe Antwort auf Frage 359).

Ausser diesen gebräuchlichsten Einheiten wurde früher noch der Widerstand eines Kupferdrahts von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser als Einheit des Widerstands verwendet. Nach den Erkl. 309, 310 und 315 und nach der Antwort auf Frage 209 unter 3). ist jedoch die Grösse des Widerstands des Kupfers je nach dem Grade der Reinheit verschieden und ist auch Veränderungen durch äussere mechanische Wirkungen unterworfen. Das Kupfer ist daher nicht zur Herstellung einer sehr genauen Widerstandseinheit geeignet (siehe Erkl. 572).

Erkl. 572. Zu nebenstehender Antwort ist zu bemerken, dass das Kupfer schwer in genügender Reinheit herzustellen ist, und dass die Härte desselben, welche den spezifischen Widerstand beeinflusst, sehr verschieden ist.

Das Quecksilber dagegen ist leicht genügend rein zu erhalten, und der spezifische Widerstand desselben ist bei ein und derselben Temperatur stets derselbe.

Frage 357. Was versteht man unter der Siemensschen Quecksilbereinheit des Leitungswiderstands?

Antwort. Unter der Siemensschen Quecksilbereinheit des Leitungswiderstands versteht man den Widerstand, welchen eine Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt bei der Temperatur von 0° Celsius besitzt (siehe Erkl. 573).

Man drückt somit den Leitungswiderstand eines Leiters in Siemenssche Quecksilbereinheiten aus, indem man angibt, welche Länge in Meter eine Quecksilbersäule von 1 Quadratmillimeter Querschnitt bei 0° Celsius haben muss, um den Widerstand des betreffenden Leiters zu äussern.

Erkl. 573. Betreffs des Siemensschen Widerstands-Etalons siehe Antwort auf Frage 204.

Frage 358. Wie kann man den Leitungswiderstand einer Quecksilbersäule von überall gleichem kreisförmigem Querschnitt aus der Länge und dem Gewicht in Siemensschen Einheiten berechnen?

Antwort. Um den Leitungswiderstand einer Quecksilbersäule aus der Länge derselben und dem Gewicht des Quecksilbers zu berechnen, verfährt man wie folgt:

Man füllt eine Glasröhre von möglichst an allen Stellen gleichem und kreisförmigem Querschnitt mit Quecksilber, giesst dieses wieder aus, wiegt dasselbe und bestimmt möglichst genau die Länge der Glasröhre, d. h. der Quecksilbersäule, welche in dieser Röhre Platz findet.

Bezeichnet nun

l die Länge der Quecksilbersäule in Meter, oder, was dasselbe ist, $0{,}001 \,.\, l$ diese Länge in Millimeter,

bezeichnet ferner

r die unbekannte Länge des Halbmessers des Querschnitts der Quecksilbersäule in Millimeter,

G das in Milligramm ausgedrückte, durch genaue Wägung bestimmte Gewicht der Quecksilbersäule,

q den in Quadratmillimeter ausgedrückten unbekannten Querschnitt derselben,

so erhält man nach Gleichung d). in Antwort auf Frage 353 und nach voriger Antwort für den Widerstand:

Erkl. 574. Statt der in nebenstehender Antwort gebrauchten Bezeichnung SE für Siemenssche Quecksilbereinheiten wird häufig auch die Bezeichnung QE angewendet.

a). $W = \frac{l}{q}$ Siemenssche Einheiten

oder, wie man zu schreiben pflegt:

$$W = \frac{l}{q}\ \text{SE} \quad \text{(siehe Erkl. 574)}$$

oder, wenn man nach Erkl. 575 $q = r^2\pi$ setzt:

b). $W = \frac{l}{r^2\pi}$ SE

Berücksichtigt man nun, dass der Rauminhalt der Glasröhre:

Erkl. 575. Bezeichnet man den Halbmesser eines Kreises mit r, den Flächeninhalt desselben mit q, und mit π die irrationale Zahl 3,1416, so ist:

$$q = r^2\pi \text{ Flächeneinheiten.}$$

c). . . $V = 0{,}001 \,.\, l \,.\, r^2\pi$ Kubikmillimeter

ist (siehe Erkl. 576), und dass 1 Kubikmillimeter Quecksilber 13,596 Milligramm wiegt, so erhält man für das Gewicht G der Quecksilbersäule nach Gleichung c). die Relation:

d). . . $G = 13{,}596 \,.\, 0{,}001 \,.\, l \,.\, r^2\pi$ Milligramm

Multipliziert man die Gleichungen b). und d)., so erhält man:

Erkl. 576. Bezeichnet man den Halbmesser des Querschnitts eines Kreiscylinders mit r, die Höhe dieses Cylinders mit l, den Voluminhalt desselben mit V, die irrationale Zahl 3,1416 mit π, so ist:

$$V = r^2\pi l \text{ Volumeinheiten.}$$

$$W \,.\, G = \frac{l}{r^2\pi} \cdot 13{,}596 \,.\, 0{,}001 \,.\, l \,.\, r^2\pi$$

oder:

e). . . $W \,.\, G = 13{,}596 \,.\, 0{,}001 \,.\, l^2$

und hieraus ergibt sich:

f). . . $W = \frac{13{,}596 \,.\, l^2}{1000 \,.\, G}$ SE

nach welcher Gleichung somit der Widerstand W der Quecksilbersäule aus deren Länge l in Meter und dem Gewicht G des Quecksilbers in Milligramm in Siemensschen Einheiten bestimmt werden kann.

Frage 359. Was versteht man unter dem Ohm als Masseinheit des Leitungswiderstands, und in welchem Verhältnis steht diese Einheit zur Siemensschen Einheit des Widerstands?

Antwort. Das Ohm ist die sogen. technische Masseinheit des Leitungswiderstands. Diese Einheit ist aus dem absoluten oder Centimeter-Gramm-Sekunden-System abgeleitet, und zwar ist 1 Ohm = 10^9 Centimeter-Gramm.

Erkl. 577. Das Ohm wurde von dem Kongress der Elektrotechniker zu Paris im Jahre 1884 zu 1,06 SE festgesetzt, und dieser Wert wird, zum Unterschied von den Werten, welche von verschiedenen Forschern gefunden, und welche hiervon und untereinander etwas abweichen, das „gesetzliche oder legale Ohm“ genannt (siehe Erkl. 510).

Das „gesetzliche Ohm“ ist gleich 1,06 Siemensschen Einheiten (siehe Erkl. 577), oder 1 Siemenssche Einheit ist gleich 0,943 Ohm.

C). Ueber die Messung des Leitungswiderstands fester Körper.

Frage 360. Welches sind im allgemeinen die bekanntesten Methoden der Messung des Leitungswiderstands fester Körper?

Erkl. 578. Zur Messung des Leitungswiderstands werden zahlreiche Methoden angewendet, welche zum Teil für spezielle Zwecke, z. B. zur Messung sehr hoher oder zur Messung besonders kleiner Widerstände dienen. Diese Spezialmethoden findet man in den betreff. technischen Lehrbüchern dieses Werkes.

Antwort. Die bekanntesten Methoden der Messung des Leitungswiderstands sind im allgemeinen:

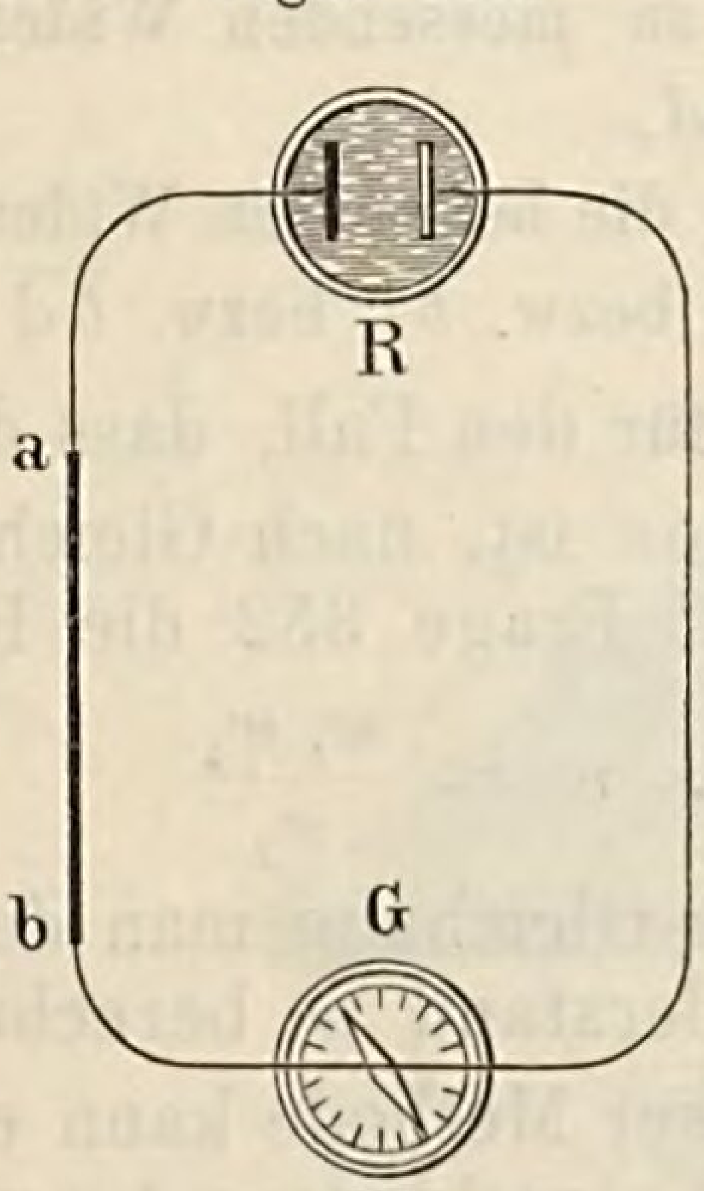
1). Die Methode der einfachen Substitution (s. Antw. auf Frage 361);

2). die Wheatstonesche Brückenmethode (siehe Antw. auf Frage 362);

3). die Thomsonsche Brückenmethode (siehe Antwort auf Frage 365 und Erkl. 578).

Frage 361. Worin besteht die Methode der einfachen Substitution zur Messung des Leitungswiderstands?

Figur 203.



Antwort. Die Methode der einfachen Substitution zur Messung des Leitungswiderstands besteht in folgendem:

Man schaltet in den Stromkreis eines konstanten Rheomotors R, siehe Figur 203, eine Tangentenbussole G und den Leiter $\overline{ab}$, dessen Widerstand zu messen ist, ein und beobachtet den Ablenkungswinkel der Magnetnadel der Bussole. Alsdann entfernt man den Leiter $\overline{ab}$, verbindet einen Rheostat (etwa einen Siemensschen Stöpselrheostat) mit den Punkten a und b, und schaltet nun in der in Antwort auf Frage 203 erwähnten Weise so viel Widerstandseinheiten des Rheostats ein, bis die Magnetnadel der Tangentenbussole möglichst genau den gleichen Ablenkungswinkel zeigt wie vorher. Der nun eingeschaltete Widerstand des Rheostats ist gleich dem zu messenden Widerstand des Leiters $\overline{ab}$. Dies kann man beweisen wie folgt:

Bezeichnet man

den zu messenden Widerstand des Leiters $\overline{ab}$ mit w,

den eingeschalteten bekannten Rheostatwiderstand mit W,

die sowohl bei Einschaltung von w als auch von W erhaltene Stromstärke mit J,
die elektromotorische Kraft der Säule mit E,
den übrigen Widerstand des Stromkreises mit r,

so ist nach dem Ohmschen Gesetz, wenn w in den Stromkreis eingeschaltet ist:

$$\text{a)}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad J = \frac{E}{w + r}$$

und wenn W in den Stromkreis eingeschaltet ist:

$$\text{b)}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad J = \frac{E}{W + r}$$

und aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich:

$$w + r = W + r$$

oder:

$$w = W$$

was in Uebereinstimmung mit obiger Methode ist (siehe Erkl. 579).

Erkl. 579. Die nebenstehend erwähnte Methode zur Messung des Widerstands bietet den Vorteil der Einfachheit der Ausführung; sie ist jedoch für genaue Messungen nicht zu empfehlen, weil selbst die sog. konstanten Rheomotoren einen nicht durchaus gleichmässigen Strom liefern.

Frage 362. Worauf beruht die Wheatstonesche Brückenmethode der Messung des Leitungswiderstands?

Antwort. Die Wheatstonesche Brückenmethode der Messung des Leitungswiderstands beruht auf der Anwendung der Brückenverzweigung und der für dieselbe in Antwort auf Frage 352 abgeleiteten Gleichungen.

Bezeichnet man (siehe Figur 204)

mit w den zu messenden Widerstand des Leiters $\overline{ad}$,

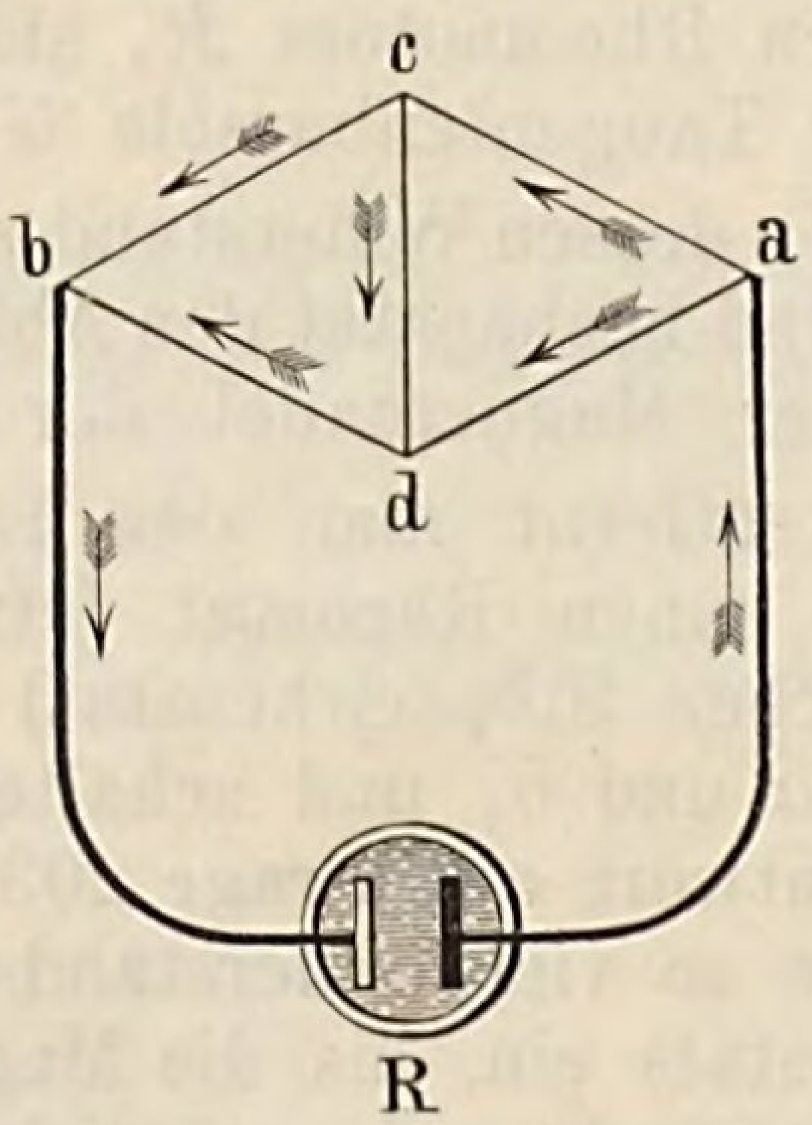
mit w_1 w_2 w_4 die bekannten Widerstände der Leiter $\overline{ac}$ bezw. $\overline{bc}$ bezw. $\overline{bd}$

so besteht für den Fall, dass die Brücke $\overline{cd}$ stromlos ist, nach Gleichung h). in Antwort auf Frage 352 die Relation:

$$\text{a)}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad w = \frac{w_1\, w_4}{w_2}$$

aus welcher Gleichung man den zu messenden Widerstand w berechnen kann.

Figur 204.



Nach dieser Methode kann ein Widerstand w auf verschiedene Arten wie folgt bestimmt werden:

1). Man macht die Widerstände w_1 und w_2 ein für allemal einander genau gleich, dann wird die Brücke stromlos, wenn $w = w_4$ ist.

Schaltet man daher in die Brücke $\overline{cd}$ ein Galvanoskop (siehe Erkl. 580), zwi-

Erkl. 580. Bei den Widerstandsmessungen dürfen nur schwache elektrische Ströme angewendet werden, damit keine Erwärmung im Stromkreise eintritt. Auch soll der Strom immer nur auf einige Augenblicke geschlossen werden, was mit Hülfe eines Stromschlüssels (siehe Antwort auf Frage 140) geschieht. Bei schwachen Strömen ist die Tangentenbussole nicht empfindlich genug, man verwendet daher empfindlichere Galvanometer (Multiplikatoren, siehe Antwort auf Frage 176).

schen a und c und b und c zwei genau gleiche Widerstände, zwischen a und d den zu messenden Widerstand, und zwischen b und d soviel Widerstandseinheiten w_4, bis die Brücke stromlos ist, bis also die Magnetnadel des Galvanoskops in ihre Ruhelage zurückkehrt, so hat man für den zu messenden Widerstand w nach Gleichung a). die einfache Relation:

b). $w = w_4$ Widerstandseinheiten
(siehe Erkl. 581).

2). Man schaltet zwischen b und d ein für allemal einen bestimmten und bekannten Widerstand w_4 ein, und verändert das Verhältnis $\frac{w_1}{w_2}$ so lange, bis die Brücke stromlos wird, dann hat man für den zu messenden Widerstand w die durch Gleichung a). gegebene Relation:

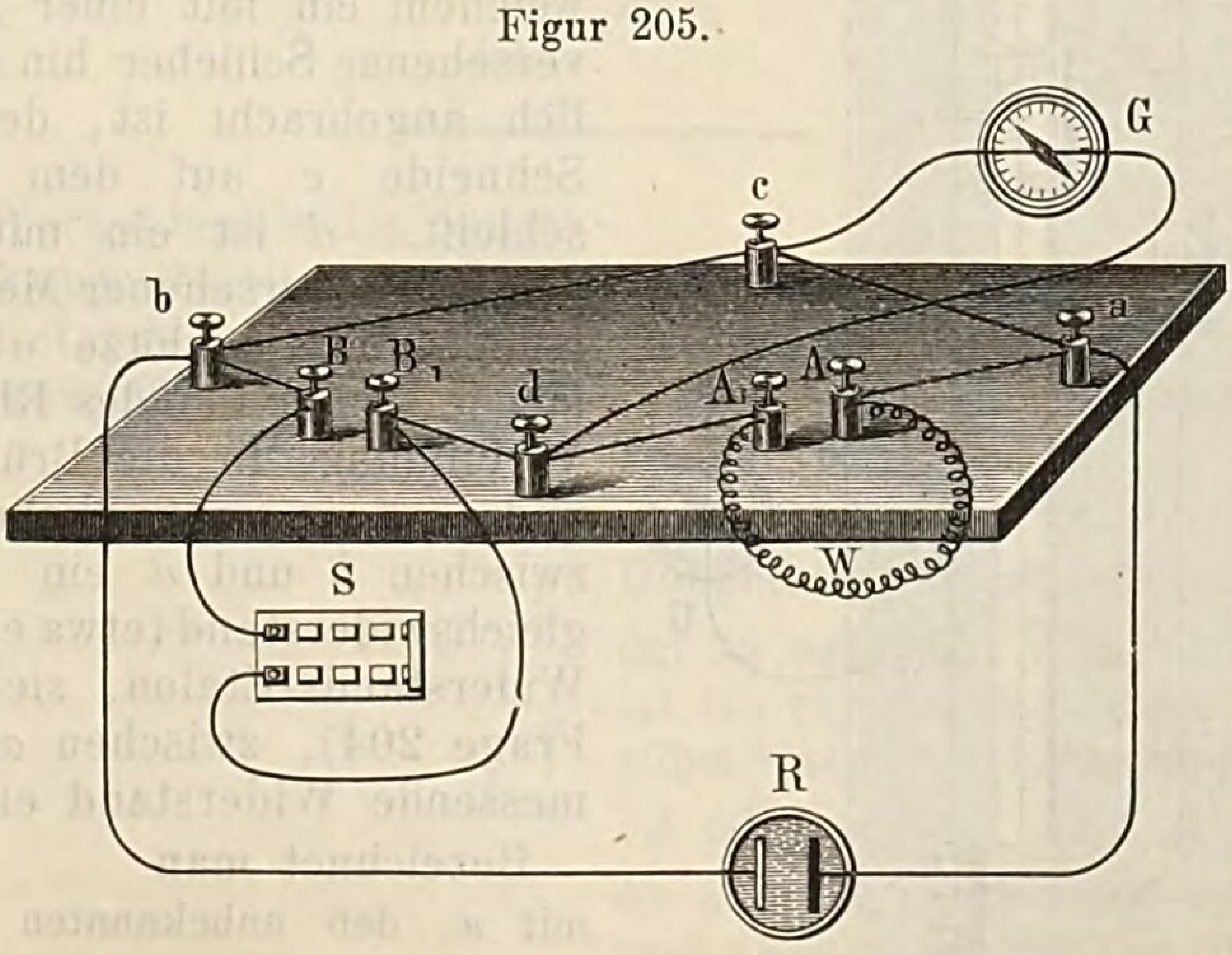
c). $w = w_4 \cdot \frac{w_1}{w_2}$ Widerstandseinheiten
(siehe Erkl. 581).

Erkl. 581. In dem in nebenstehender Antwort unter 1). gesetzten Fall, in welchem w_4 bekannt und veränderlich ist, braucht die Grösse des Widerstands $w_1 = w_2$ nicht bekannt zu sein; bei dem unter 2). gesetzten Fall, in welchem w_4 bekannt und unveränderlich ist, braucht man nur das Verhältnis der Widerstände w_1 und w_2, nicht aber die Grösse derselben zu kennen.

Frage 363. Worin besteht die Wheatstonesche Einrichtung zur Ausführung einer Widerstandsmessung nach dem in voriger Antwort unter 1). erwähnten Prinzip?

Antwort. Die Wheatstonesche Einrichtung zur Ausführung einer Widerstandsmessung nach dem in voriger Antwort unter 1). erwähnten Prinzip besteht in folgendem:

Figur 205.



Auf einem Holzbrett, siehe Figur 205, sind die Klemmschrauben $a\,b\,c\,d$ und

Erkl. 582. Die nebenstehend beschriebene Einrichtung wird auch die Wheatstonesche Drahtkombination oder die Wheatstonesche Brücke genannt.

Erkl. 583. Die Buchstaben in Figur 205 entsprechen denjenigen der schematischen Fig. 204.

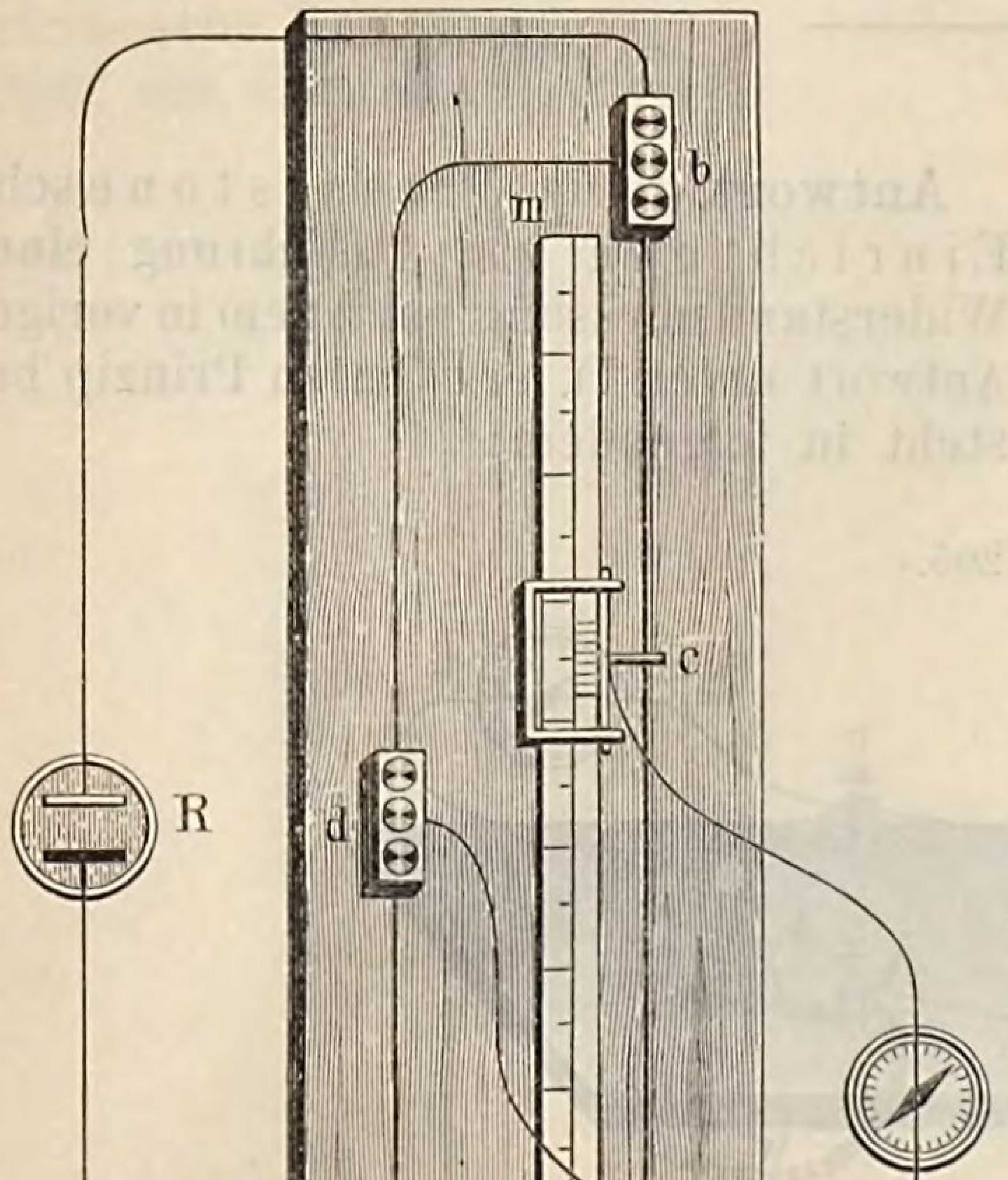
Erkl. 584. Die in nebenstehender Antwort beschriebene Messmethode kann man durch folgendes Beispiel erläutern:

Angenommen, man habe an dem zwischen B und B_1, siehe Figur 205, befindlichen Stöpselrheostat S 15,6 Siemenssche Quecksilbereinheiten einschalten müssen, um eine stromlose Brücke zu erhalten, so ist der zu messende Widerstand W (zwischen A und A_1) = 15,6 SE.

$A A_1$ $B B_1$ befestigt. c ist mit a und mit b durch Drähte von genau gleichem Widerstand (w) verbunden, b ist mit B, B_1 mit d, A mit a, A_1 mit d durch je einen Draht verbunden, und zwar sind die Widerstände von $bB + B_1 d$ genau gleich den Widerständen von $aA + A_1 d$. Die Klemmschrauben a und b stehen mit den Polen des Rheomotors R in Verbindung; in der Brücke cd ist das Galvanoskop G, zwischen B und B_1 der Rheostat S, zwischen A und A_1 der zu messende Widerstand W eingeschaltet (siehe die Erkl. 582 bis 584).

Frage 364. Worin besteht die Kirchhoff-Wheatstonesche Einrichtung zur Ausführung einer Widerstandsmessung nach dem in Antwort auf Frage 362 unter 2). erwähnten Prinzip?

Figur 206.



Antwort. Die Kirchhoff-Wheatstonesche Einrichtung zur Ausführung einer Widerstandsmessung nach dem in Antwort auf Frage 362 unter 2). erwähnten Prinzip besteht in folgendem:

Auf einem Holzbrett, siehe Figur 206, sind zwei mit Klemmschrauben versehene Messingklötze a und b befestigt, und in dieselben ist ein meist 1 Meter langer, an allen Stellen möglichst gleich dicker und runder Neusilberdraht genau gerade eingespannt (siehe Erkl. 585). Parallel zu diesem Draht ist ein Massstab mn von genau gleicher Länge, gewöhnlich in Millimeter eingeteilt, befestigt, auf welchem ein mit einer Klemmschraube versehener Schieber hin und her beweglich angebracht ist, dessen metallene Schneide c auf dem Neusilberdraht schleift. d ist ein mit drei Klemmschrauben versehener Messingklotz. Die beiden Messingklötze a und b stehen mit je einem Pol des Rheomotors R in Verbindung; in die Brücke zwischen c und d ist ein empfindliches Galvanoskop, zwischen b und d ein bekannter Vergleichswiderstand (etwa ein Siemensscher Widerstands-Etalon, siehe Antwort auf Frage 204), zwischen a und d der zu messende Widerstand eingeschaltet.

Bezeichnet man

mit w_1 den unbekannten Widerstand des Drahtstücks ac,

mit l_1 die an dem Massstab mn gemessene Länge dieses Drahtstücks in Millimeter,

mit w_2 den unbekannten Widerstand des Drahtstücks $\overline{bc}$,
mit l_2 die an dem Massstab mn gemessene Länge dieses Drahtstücks in Millimeter,
mit S den bekannten Widerstand des Etalons zwischen b und d in Siemensschen Quecksilbereinheiten,
mit W den zu messenden Widerstand zwischen a und d,

so besteht für den Fall, dass die Brücke $\overline{cd}$ stromlos ist, nach Gleichung i). in Antwort auf Frage 352 die Relation:

a). $W : S = w_1 : w_2$

Damit nun die Brücke stromlos wird, hat man demnach die Schneide c durch Verschieben des Schiebers auf denjenigen Punkt des Drahts $\overline{ab}$ einzustellen, welcher der in Gleichung a). angegebenen Relation entspricht, wobei die Magnetnadel des Galvanoskops keinen Ausschlag zeigt.

Da nun nach Antwort auf Frage 353 zwischen den Widerständen w_1 und w_2 und den Längen l_1 und l_2 von $\overline{ab}$ und $\overline{ac}$ die Relation:

b). $w_1 : w_2 = l_1 : l_2$

besteht, so ergibt sich aus den Gleichungen a). und b).:

c). $W : S = l_1 : l_2$

mithin:

d). $W = S \frac{l_1}{l_2}$ Quecksilbereinheiten

(siehe Erkl. 586).

Erkl. 585. Die nebenstehend beschriebene Einrichtung wird auch die Kirchhoff-Wheatstonesche Drahtkombination genannt.

Erkl. 586. Die in nebenstehender Antwort beschriebene Messmethode kann man an folgendem Beispiel erläutern:

Angenommen, der Messdraht $\overline{ab}$, siehe Figur 206, sei 1 Meter lang, zwischen b und c sei ein Siemensscher Etalon von 1 SE eingeschaltet und die Magnetnadel des Galvanoskops G sei in ihre Ruhelage zurückgekehrt, nachdem man den Schieber auf einen Punkt eingestellt hat, auf welchem der Messdraht in die beiden Abschnitte $\overline{ac} = 645$ Millimeter und $\overline{bc} = 355$ Millimeter geteilt sei, so besteht nach nebenstehender Gleichung c). die Relation:

$$W : 1 = 645 : 355$$

woraus sich ergibt:

$$W = \frac{645}{355}$$

oder:

$$W = 1{,}8\,\text{SE}$$

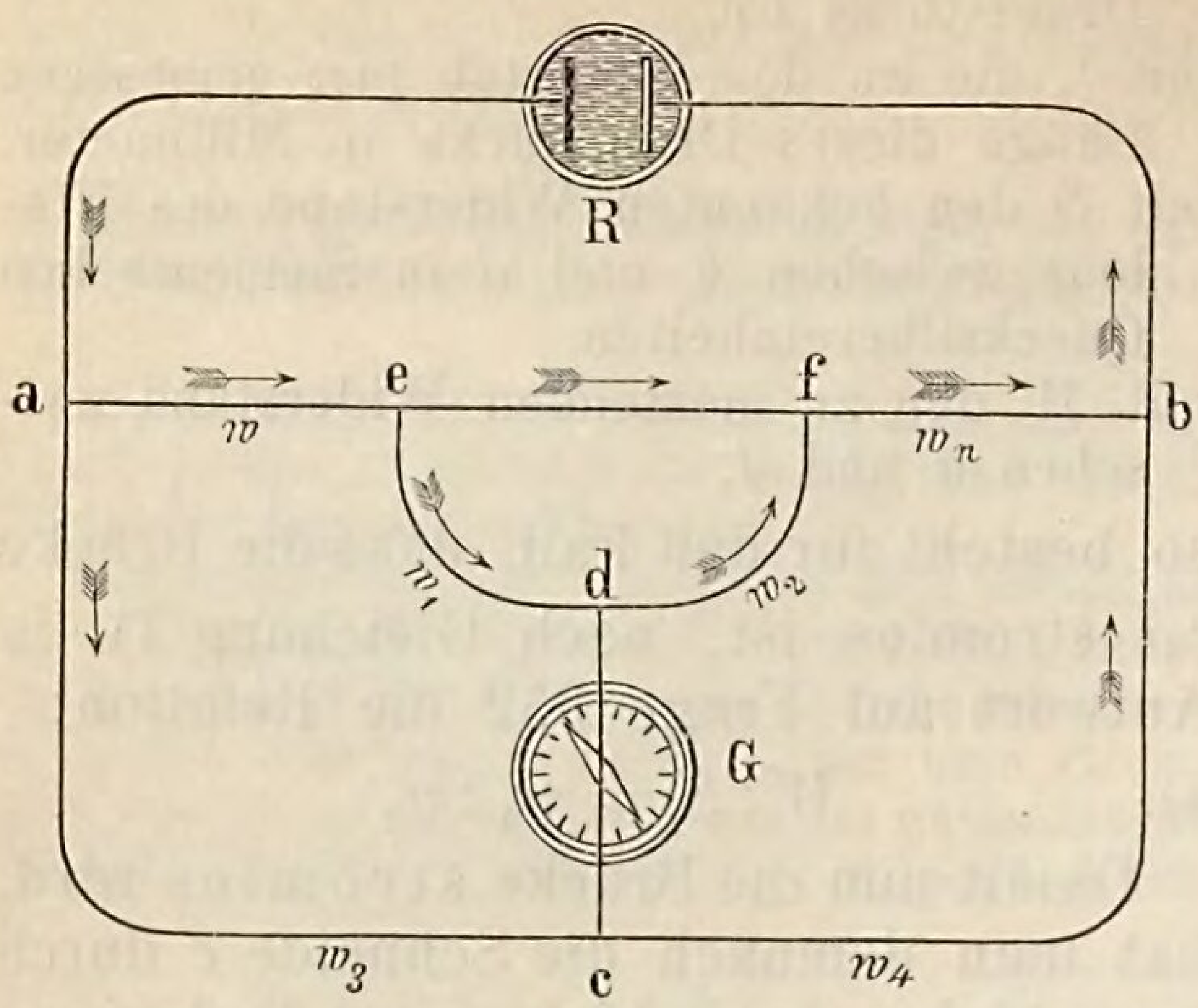
Frage 365. Worauf beruht die Thomsonsche Brückenmethode zur Messung des Widerstands, und wie wird diese Methode ausgeführt?

Antwort. Die Thomsonsche Methode der Messung des Widerstands beruht auf der Anwendung der sogen. Doppelbrücke.

In Figur 207 ist das Schema einer Doppelbrücke dargestellt. $\overline{ae}$ oder w ist der zu messende Widerstand, $\overline{bf}$ oder w_n ist ein sog. Normaldraht, d. h. ein Neusilberdraht von bekanntem Widerstand. $\overline{ed}$ oder w_1, $\overline{df}$ oder w_2, $\overline{ac}$ oder w_3, $\overline{bc}$ oder w_4 sind Vergleichswiderstände, und zwar werden diese Widerstände so gewählt, dass die Relation:

a). . . . $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$

Figur 207.



besteht. Zwischen a und b ist der Rheomotor R, in der Brücke cd ein empfindliches Galvanoskop G eingeschaltet.

Schaltet man nun so viel von dem Normaldraht $\overline{bf}$ in den Stromkreis, bis die Nadel des Galvanoskops keinen Ausschlag zeigt, so ist alsdann:

b). . . . $w = w_n \frac{w_1}{w_2}$ (s. folgende Antw.);

misst man alsdann die Länge des eingeschalteten Normaldrahts und berechnet für diese Länge den Widerstand w_n aus dem für die Gesamtlänge des Normaldrahts bekannten Gesamtwiderstand, so kann man nach Gleichung a). den Widerstand w berechnen (siehe die Erkl. 587 bis 589).

Frage 366. Wie kann man die Bedingungen der in voriger Antwort erwähnten Messmethode ableiten?

Antwort. Die in voriger Antwort erwähnte Messmethode kann man ableiten wie folgt (siehe die Erkl. 587—589):

Bezeichnet man in der in Figur 207 schematisch dargestellten Thomsonschen Doppelbrücke

			die Stromstärke		den Widerstand
im Zweig	ae	mit	i	und	w
„	„ bf	„	i_n	„	w_n
„	„ ef	„	i_0	„	w_0
„	„ ed	„	i_1	„	w_1
„	„ df	„	i_2	„	w_2
„	„ ac	„	i_3	„	w_3
„	„ bc	„	i_4	„	w_4
„	„ bRa	„	J		

und setzt man den dieser Messmethode zu Grunde liegenden Fall, dass die Brücke cd stromlos ist, so bestehen nach dem 1. Kirchhoffschen Satz folgende Relationen:

a). $i_1 = i_2$

b). $i_3 = i_4$

c). $J = i_n + i_4$

d). $J = i + i_3$

e). $i_n = i_0 + i_2$

und nach dem 2. Kirchhoffschen Satz bestehen die ferneren Relationen:

f). . . $i w + i_1 w_1 - i_3 w_3 = 0$

g). . . $i_n w_n + i_2 w_2 - i_4 w_4 = 0$

h). . . $i_1 w_1 + i_2 w_2 - i_0 w_0 = 0$

Erkl. 587. Die in nebenstehender und in voriger Antwort beschriebene Messmethode kann man durch folgende Beispiele erläutern:

1). Angenommen: es sei der Widerstand w einer Kupferstange zu messen; man habe eine Länge $\overline{ae}$, siehe Figur 207, von 500 Millimeter dieser Kupferstange eingeschaltet; die Vergleichswiderstände seien w_1 und $w_3 = 10$ SE, w_2 und $w_4 = 1000$ SE; der Normaldraht sei 1 Meter lang und sein Gesamtwiderstand sei $= 0{,}01$ SE. Bei Einschaltung von $bf = 800$ Millimeter des Normaldrahts, also bei $w_n = 0{,}01 \,.\, 0{,}8$ SE, sei die Nadel des Galvanoskops in ihre Ruhelage zurückgekehrt. Nach nebenstehender Antwort besteht alsdann die Relation:

$$w : 0{,}01 \,.\, 0{,}8 = 10 : 1000$$

mithin ist der Widerstand w von 500 Millimeter der gemessenen Kupferstange:

$$w = 0{,}00008 \text{ SE}$$

Also ist der Widerstand einer solchen Kupferstange pro Meter $= 0{,}00016$ SE.

2). Angenommen: es sei der Widerstand w eines Kupferdrahts zu messen, von welchem eine Länge $\overline{ae} = 250$ Millimeter eingeschaltet wurde; die Vergleichswiderstände seien $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 10$ SE; von dem in Beispiel 1). bezeichneten Normaldraht sei eine Länge von 400 Millimeter eingeschaltet worden, wobei die Nadel des Galvanoskops in ihre Ruhelage zurückgekehrt sei, so besteht die Relation:

$$w : 0{,}01 \,.\, 0{,}4 = 10 : 10$$

mithin:

$$w = 0{,}01 \,.\, 0{,}4$$
$$= 0{,}004 \text{ SE}$$

Der gemessene Kupferdraht hat somit pro Meter einen Widerstand von $\frac{1000 \,.\, 0{,}004}{250} = 0{,}016$ SE.

Erkl. 588. Bei der in nebenstehender und in voriger Antwort erwähnten Thomsonschen Brücke finden gewöhnlich zweierlei Vergleichswiderstände Anwendung: w_1 und w_3 sind je $= 10$ SE, w_2 und w_4 können zu je 10 oder zu je 1000 SE gewählt werden. Für $w = 0{,}01$ bis 0,0001 SE wählt man w_2 und w_4 zu je 10 SE, für $w < 0{,}0001$ SE dagegen wählt man w_2 und w_4 zu je 1000 SE.

Aus c). und d). ergibt sich:

i). $i_n + i_4 = i + i_3$

und durch Subtraktion von b). und i).:

k). $i = i_n$

Aus f). und g). erhält man:

l). . . . $i_3 w_3 = i w + i_1 w_1$

und

m). . . . $i_4 w_4 = i_n w_n + i_2 w_2$

Dividiert man l). durch m)., so ergibt sich:

n). . . $\dfrac{i_3 w_3}{i_4 w_4} = \dfrac{i w + i_1 w_1}{i_n w_n + i_2 w_2}$

Da nun nach a)., b). und k).:

$$i_1 = i_2$$
$$i_3 = i_4$$

und $i = i_n$ ist,

so kann man statt n). auch setzen:

o). . . $\dfrac{w_3}{w_4} = \dfrac{i_n w + i_1 w_1}{i_n w_n + i_1 w_2}$

Aus h). ergibt sich nun:

$$i_0 w_0 = i_1 w_1 + i_2 w_2$$

wofür man nach a). auch:

$$i_0 w_0 = i_1 w_1 + i_1 w_2$$

setzen kann. Somit ist:

p). . . . $i_0 = \dfrac{i_1 w_1 + i_1 w_2}{w_0}$

Aus

e). $i_n = i_0 + i_2$

und

a). $i_1 = i_2$

ergibt sich:

$$i_n = i_0 + i_1$$

daher nach p). auch:

$$i_n = \frac{i_1 w_1 + i_1 w_2}{w_0} + i_1$$

oder:

$$i_n = \frac{i_1 w_1 + i_1 w_2 + i_1 w_0}{w_0}$$

oder auch:

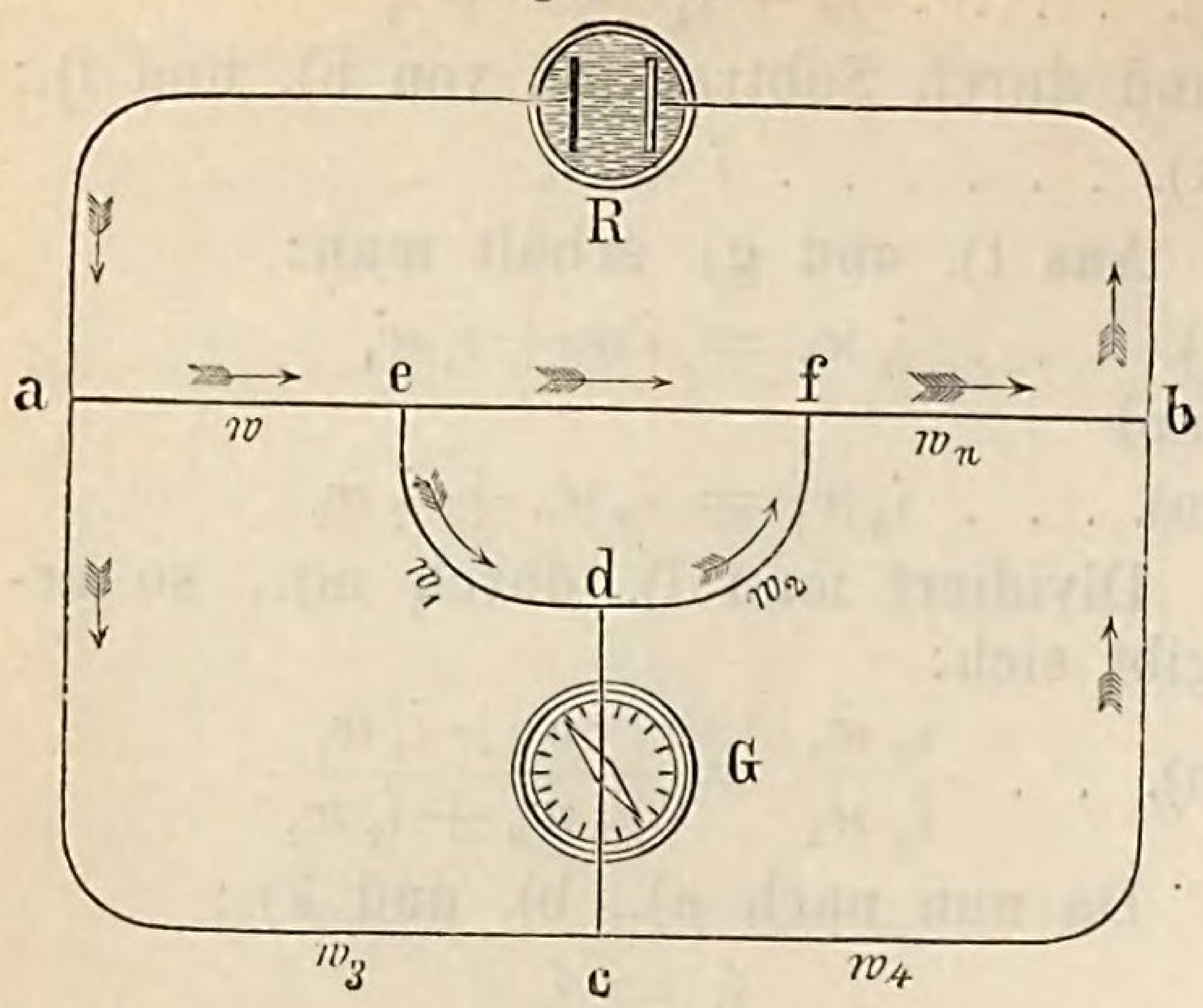
q). . . $i_n = \dfrac{i_1}{w_0}\left(w_0 + w_1 + w_2\right)$

Setzt man den Wert von i_n aus q). in o). ein, so erhält man:

$$\frac{w_3}{w_4} = \frac{\frac{i_1}{w_0}\left(w_0 + w_1 + w_2\right) w + i_1 w_1}{\frac{i_1}{w_0}\left(w_0 + w_1 + w_2\right) w_n + i_1 w_2}$$

oder durch Division mit i_1:

Figur 207.



r). . . $\frac{w_3}{w_4} = \frac{w\,(w_0 + w_1 + w_2) + w_0 w_1}{w_n (w_0 + w_1 + w_2) + w_0 w_2}$

oder auch:

s). . . $\frac{w_3}{w_4} = \frac{w + \frac{w_0\, w_1}{w_0 + w_1 + w_2}}{w_n + \frac{w_0\, w_2}{w_0 + w_1 + w_2}}$

Wählt man nun die Widerstände w_1 w_2 w_3 w_4 derart, dass zwischen ihnen die Relation:

t). $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$

besteht [siehe Gleichung a). in voriger Antwort], so ist nach Gleichung s). auch:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{w + \frac{w_0\, w_1}{w_0 + w_1 + w_2}}{w_n + \frac{w_0\, w_2}{w_0 + w_1 + w_2}}$$

Hieraus erhält man:

$$w_n\, w_1 + \frac{w_0\; w_1\; w_2}{w_0 + w_1 + w_2} = w\, w_2 + \frac{w_0\; w_1\; w_2}{w_0 + w_1 + w_2}$$

oder, wenn man auf beiden Seiten dieser Gleichung $\frac{w_0\, w_1\, w_2}{w_0 + w_1 + w_2}$ subtrahiert:

$$w_n\, w_1 = w\, w_2$$

mithin:

$$w : w_n = w_1 : w_2$$

[siehe Gleichung b). in voriger Antwort],

daher auch nach t).:

u). . . . $w : w_n = w_3 : w_4$

Wählt man die Vergleichswiderstände:

$$w_1 = w_2$$
$$\text{und } w_3 = w_4$$

so muss auch $w = w_n$ sein, damit die Brücke stromlos wird [siehe das Beispiel 2). in Erkl. 587]; wählt man dagegen:

$$w_2 = w_4 = 100\, w_1 = 100\, w_3$$

so muss $w = \frac{1}{100}\, w_n$ sein, damit die Brücke stromlos wird [siehe das Beispiel 1). in Erkl. 587].

Erkl. 589. Die in voriger Antwort erwähnte Messmethode wird zur Messung kleiner Widerstände angewendet. Dieselbe zeichnet sich für diesen Zweck durch Genauigkeit aus, weil die Vergleichswiderstände so gross gewählt werden können, dass die Widerstände, welche durch unvollkommenen Kontakt bei der Einschaltung des Normaldrahts und des zu messenden Leiters entstehen, und welche je nach der grösseren oder geringeren Unvollkommenheit dieser Kontakte sehr verschieden sein können, im Verhältnis sehr klein werden, wodurch diese sog. „Kontaktfehler“ sehr verringert werden. Infolgedessen können mittels dieser Methode selbst sehr kleine Widerstände mit hinreichender Genauigkeit gemessen und durch Anwendung messerförmiger Kontakte die Längen $\overline{ae}$ und $\overline{bf}$ sehr genau abgemessen werden.

D). Ueber die Messung des Leitungswiderstands der Flüssigkeiten.

Frage 367. Wie kann man den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten messen?

Antwort. Den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten kann man messen:

1). unter Anwendung gleichgerichteter elektrischer Ströme,

Erkl. 590. Ein gleichgerichteter elektrischer Strom ist ein solcher, bei welchem der Ausgleich der beiden Elektricitäten stets

in der gleichen Richtung stattfindet, bei welchem also die positive Elektricität stets in der einen Richtung, die negative Elektricität stets in der andern (entgegengesetzten) Richtung fliesst (siehe Antwort auf Frage 36).

2). unter Anwendung von Wechselströmen (siehe die Erkl. 404 u. 590).

Frage 368. Worin besteht die einfachste Methode der Messung des Leitungswiderstands von Flüssigkeiten?

Erkl. 591. Bei der nebenstehend beschriebenen Messung des Widerstands von Flüssigkeiten ist zu berücksichtigen, dass die Elektroden der Flüssigkeiten beim Durchgang des elektrischen Stroms polarisiert werden (siehe Antwort auf Frage 216). Da die Polarisation eine Verminderung der Stromstärke bewirkt, so muss man den Strom so lange wirken lassen, bis die Elektroden vollständig polarisiert sind, was man daran erkennt, dass die Stromstärke konstant geworden und daher einen gleichbleibenden Ablenkungswinkel der Nadel der Bussole hervorruft.

Antwort. Die einfachste Methode der Messung des Leitungswiderstands von Flüssigkeiten besteht in folgendem:

Die betreffende Flüssigkeit wird in ein Gefäss gefüllt, welches mit Elektroden versehen und so eingerichtet ist, dass die Länge und der Querschnitt der Flüssigkeitssäule gemessen werden kann (siehe folgende Antwort). Die Flüssigkeitssäule wird mittels der Elektroden in den Stromkreis einer Säule eingeschaltet, welcher ausserdem eine Tangentenbussole enthält. Nachdem der elektrische Strom konstant geworden ist (siehe Erkl. 591), verringert man die Länge der Flüssigkeitssäule dadurch, dass man die Elektroden näher rückt, und schaltet nun so viel bekannten Widerstand in den Stromkreis, bis die Nadel der Bussole wieder den vorherigen Ablenkungswinkel zeigt, d. h. also, bis die Stromstärke wieder dieselbe ist, wie vorher. Der eingeschaltete Widerstand ist nun gleich dem Widerstand der ausgeschalteten Flüssigkeitssäule.

Frage 369. Welches sind die bekanntesten Einrichtungen zur Aufnahme von Flüssigkeiten, deren Leitungswiderstand nach der in voriger Antwort erwähnten Methode gemessen werden soll?

Erkl. 592. Zu den nebenstehend beschriebenen Apparaten ist folgendes zu bemerken:

Werden in diesen Apparaten Salzlösungen untersucht, aus welchen sich durch die Elektrolyse das Metall an der Katode niederschlägt, so wählt man die Katode des Apparats aus dem betreffenden Metall.

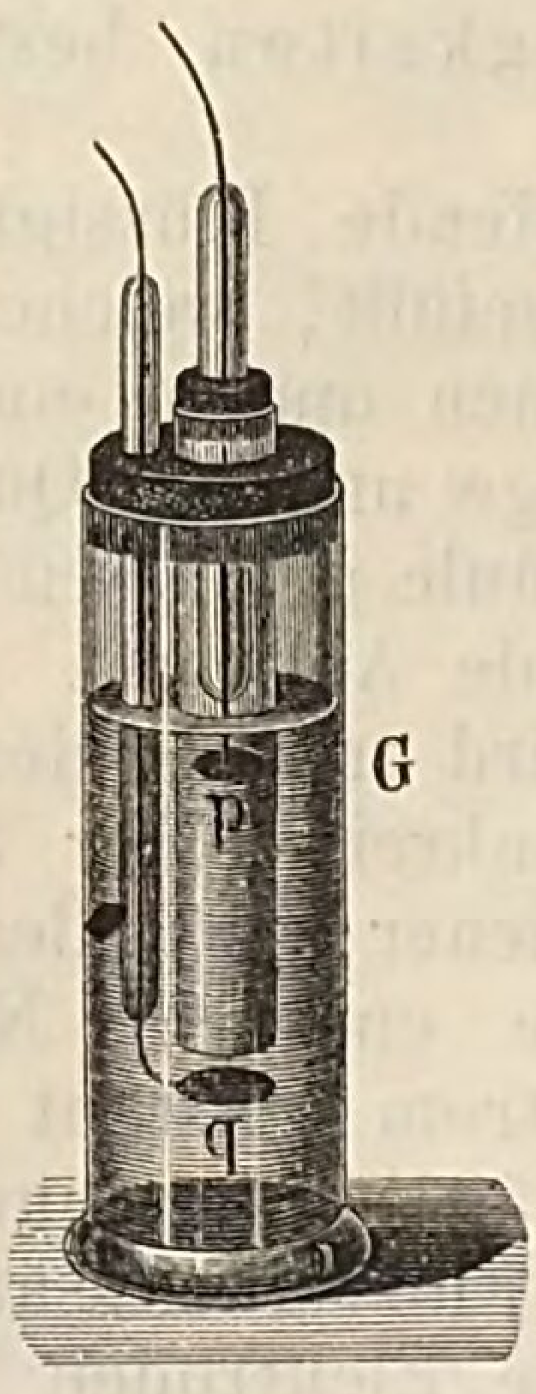
Scheiden sich dagegen aus den zu untersuchenden Flüssigkeiten durch Elektrolyse Gase ab, so hat man bei dem unter 1). beschriebenen Apparat die Elektrode q als Anode zu nehmen; dieselbe muss alsdann aus einem oxydierbaren Metall bestehen, damit der sich an derselben entwickelnde Sauerstoff sich mit dem

Antwort. Die bekanntesten Einrichtungen zur Aufnahme von Flüssigkeiten, deren Leitungswiderstand gemessen werden soll, sind die folgenden:

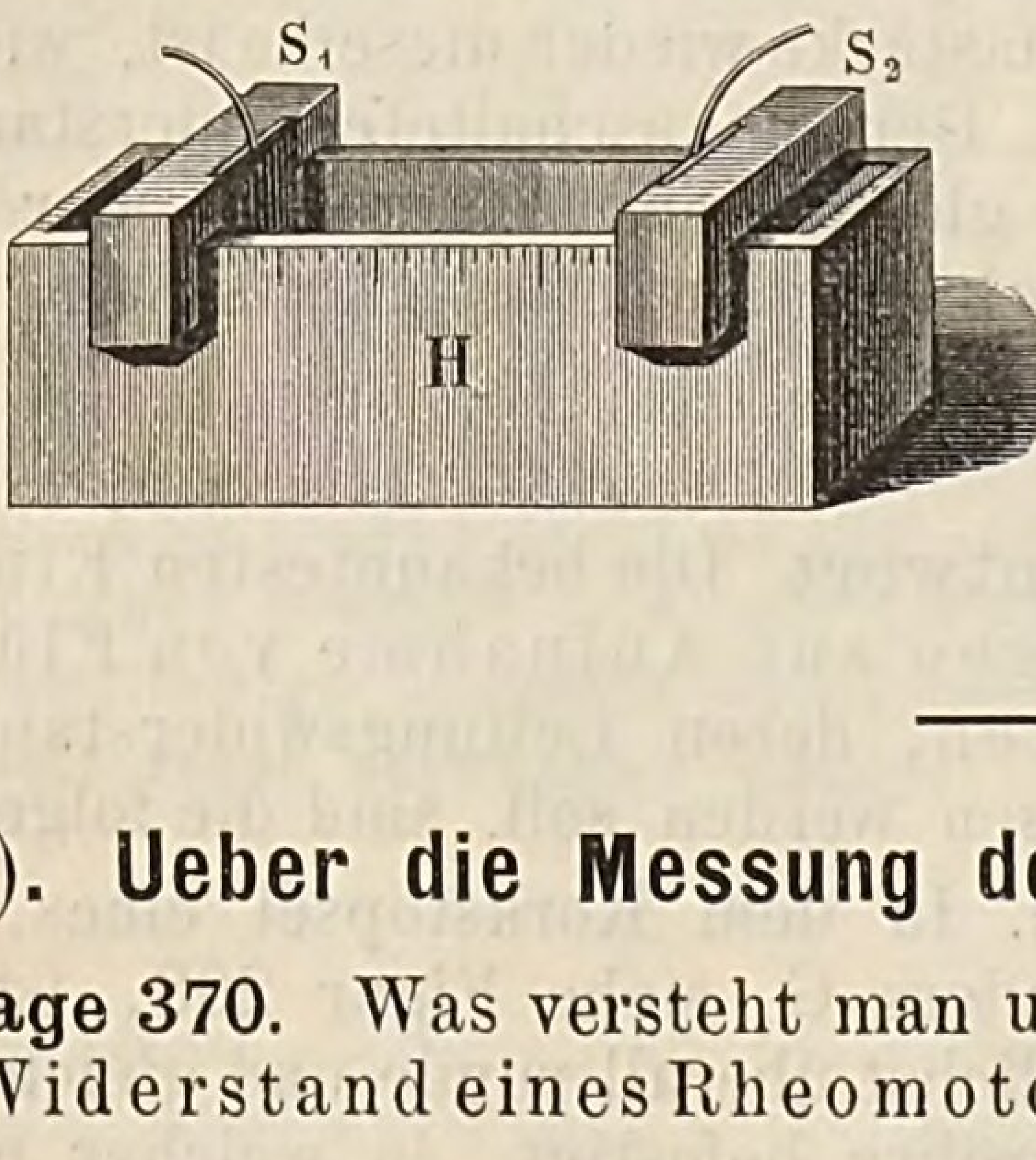
1). In dem Korkstöpsel eines Glascylinders G, siehe Figur 208, ist eine möglichst überall runde und gleich weite Glasröhre befestigt, in welcher mittels eines andern Korkstöpsels ein in ein Glasröhrchen eingeschmolzener Platindraht, welcher unten eine Platinplatte p trägt, beweglich eingesetzt ist. Ein zweiter, ebenfalls in ein Glasröhrchen eingeschmolzener Platindraht, dessen unteres gebogenes Ende eine Platinplatte q möglichst senkrecht unter der unteren Oeffnung der weiten Glasröhre trägt, ist

Metall verbindet; die Elektrode *p* muss schräg gestellt werden, damit die an derselben sich entwickelnden Gase entweichen können. In diesem Fall sind jedoch die unter 2). und 3). beschriebenen Apparate dem unter 1). beschriebenen vorzuziehen.

Figur 208.



Figur 209.

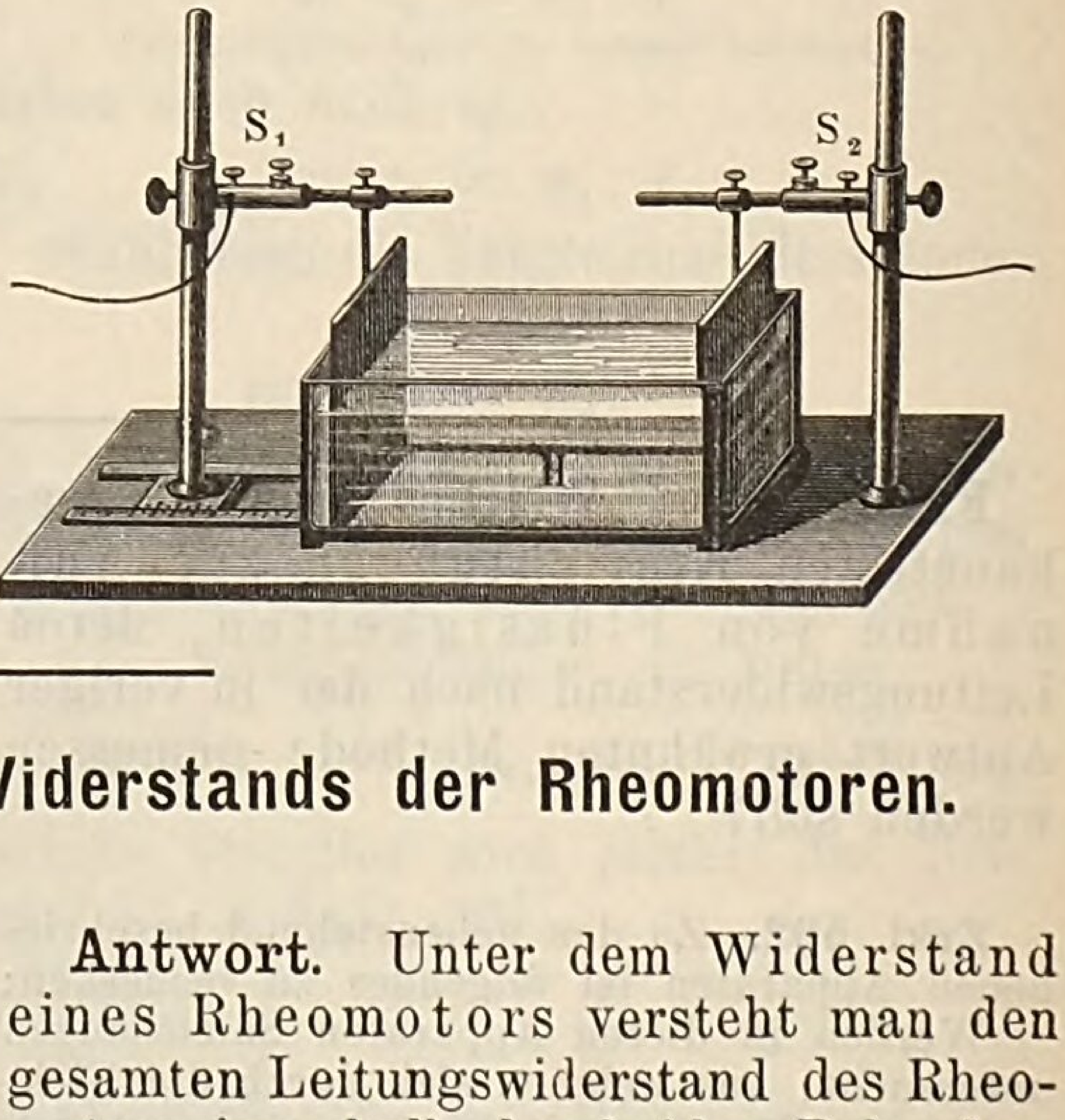


ebenfalls in den Korkstöpsel des Glasgefässes *G* eingesetzt.

2). In einem Kasten *H* aus gefirnisstem Holz, siehe Figur 209, sind die beiden Platinelektroden an zwei beweglichen Schiebern S_1 und S_2 befestigt. Die Elektroden sind nahezu so breit wie der Kasten und tragen angelötete Poldrähte. Am oberen Rande des Kastens ist ein Massstab angebracht, an welchem man die jeweilige Entfernung der Elektroden ablesen kann.

3). Figur 210 stellt einen der vorigen ähnliche Einrichtung dar. *H* ist hier aus Glas, die Elektroden sind an Stativen S_1 und S_2 aufgehängt, an welchen die Poldrähte mittels Klemmschrauben befestigt sind. Das Stativ S_1 ist verschiebbar, und der Massstab zur Messung des Abstands der Elektroden befindet sich am Fusse von S_1 auf einer der Gleitschienen, zwischen welchen S_1 verschiebbar ist (siehe Erkl. 592).

Figur 210.



E). Ueber die Messung des Widerstands der Rheomotoren.

Frage 370. Was versteht man unter dem W i d e r s t a n d e i n e s R h e o m o t o r s?

Antwort. Unter dem W i d e r s t a n d e i n e s R h e o m o t o r s versteht man den gesamten Leitungswiderstand des Rheomotors innerhalb der beiden Pole desselben. Der Widerstand eines Rheomotors setzt sich also zusammen:

1). Aus dem Widerstand der beiden Elektroden;
2). dem Widerstand der Flüssigkeit bezw. der Flüssigkeiten des Rheomotors und

Erkl. 593. Wie in Erklärung 566 bemerkt, rechnet man unter Umständen den (sehr geringen) Widerstand der Leitungsstreifen und kurzen Leitungsdrähte, welche die Verbindung eines Rheomotors mit der Hauptstromleitung vermitteln, ebenfalls zum wesentlichen Widerstand.

3). aus dem Widerstand des Diaphragmas, falls der Rheomotor ein solches enthält.

Den Widerstand der Rheomotoren bezeichnet man als den wesentlichen Widerstand des Stromkreises des betreffenden Rheomotors (siehe Antwort auf Frage 338 und Erkl. 593).

Frage 371. Welches sind die einfachsten Methoden der Messung des Widerstands der Rheomotoren?

Erkl. 594. Von den zahlreichen Methoden der Messung des Widerstands der Rheomotoren sind hier nur einige wenige, und zwar solche, welche zu den einfachsten gehören, angeführt.

Antwort. Die einfachsten Methoden der Messung des Widerstands der Rheomotoren sind unter anderen die folgenden (siehe Erkl. 594):

1). Die Methode von *Ohm* (siehe Antwort auf Frage 372),
2). einige Methoden von *Wheatstone* (siehe Antwort auf Frage 373),
3). die Methode von *Siemens* (siehe Antwort auf Frage 374).

Frage 372. Worauf beruht die Ohmsche Methode der Messung des Widerstands der Rheomotoren, und wie wird die Messung nach dieser Methode ausgeführt?

Antwort. Die Ohmsche Methode der Messung des Widerstands der Rheomotoren beruht auf der Messung und Vergleichung von Stromstärken.

Die Messung wird ausgeführt wie folgt:

Man schaltet in den Stromkreis des Rheomotors, dessen Widerstand W gemessen werden soll, ein Galvanometer (z. B. eine Tangentenbussole) vom Widerstand R und einen bekannten Widerstand r_1 ein, und bestimmt die hierbei sich ergebende Stromstärke J_1 dieses Stromkreises nach den Antworten auf die Fragen 333 bis 336.

Bezeichnet man die unbekannte elektromotorische Kraft des Rheomotors mit E, so hat man nach dem Ohmschen Gesetz alsdann für die Stromstärke J_1 die Relation:

$$\text{a)}. \; . \; . \; . \; J_1 = \frac{E}{W + R + r_1}$$

Nunmehr schaltet man anstatt des Widerstands r_1 einen andern ebenfalls bekannten Widerstand r_2 in diesen Stromkreis und bestimmt die hierbei sich ergebende Stromstärke J_2.

Für die Stromstärke J_2 hat man alsdann die fernere Relation:

$$\text{b)}. \quad . \quad . \quad J_2 = \frac{E}{W + R + r_2}$$

Aus diesen Gleichungen a). und b). ergibt sich nun:

$$E = J_1 (W + R + r_1)$$

und

$$E = J_2 (W + R + r_2)$$

also auch:

$$J_1 (W + R) + J_1 r_1 = J_2 (W + R) + J_2 r_2$$

oder:

$$(W + R)(J_1 - J_2) = J_2 r_2 - J_1 r_1$$

mithin:

$$\text{c)}. \quad . \quad . \quad W + R = \frac{J_2 r_2 - J_1 r_1}{J_1 - J_2}$$

oder:

$$\text{d)}. \quad . \quad . \quad W = \frac{J_2 r_2 - J_1 r_1}{J_1 - J_2} - R$$

Man bestimmt nun noch nach einer der in Antwort auf Frage 360 angegebenen Methoden den Widerstand des Galvanometers R. Ist derselbe wie bei der Tangentenbussole nur sehr gering, so kann man denselben ganz vernachlässigen, wobei dann Gleichung c). übergeht in:

$$\text{e)}. \quad . \quad . \quad . \quad W = \frac{J_2 r_2 - J_1 r_1}{J_1 - J_2}$$

(siehe Erkl. 595).

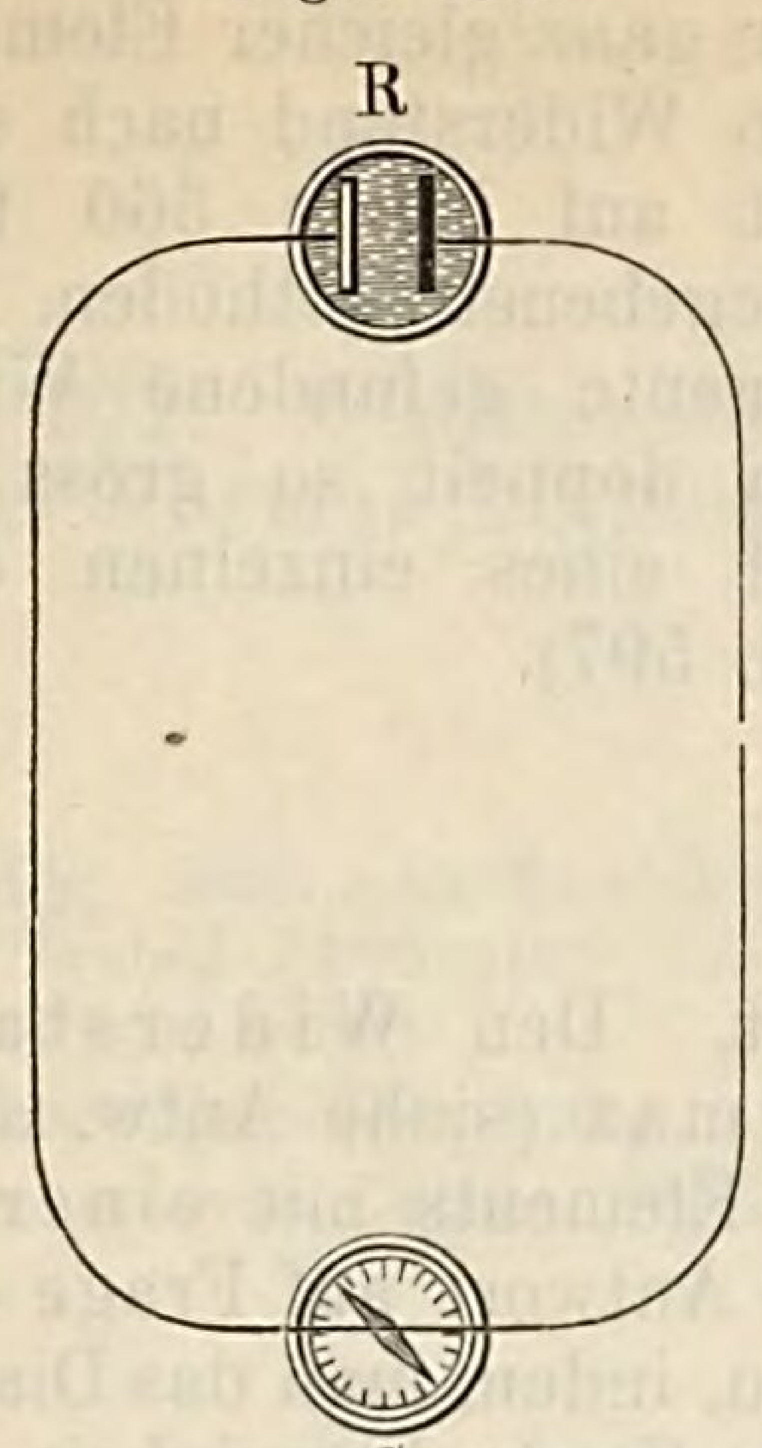
Erkl. 595. Die in nebenstehender und folgender Antwort beschriebenen Messmethoden geben nur bei sogen. konstanten Elementen einigermassen zuverlässige Resultate. Die in Antwort auf Frage 374 erwähnte Methode gibt genauere Resultate, weil bei derselben der Einfluss der Polarisation beseitigt ist.

Frage 373. Wie kann man nach *Wheatstone* den Widerstand der Rheomotoren messen?

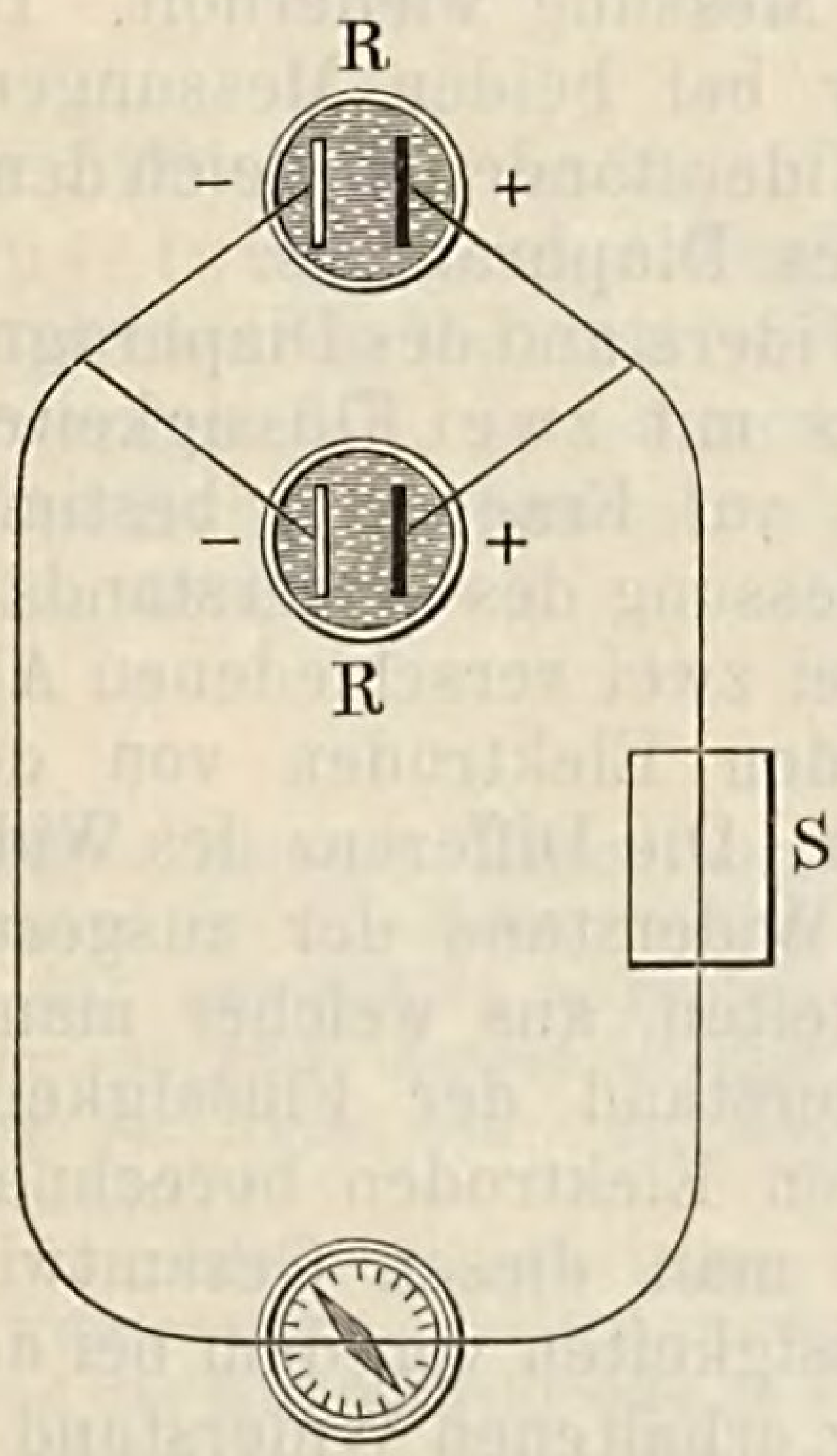
Antwort. Nach *Wheatstone* kann man den Widerstand der Rheomotoren wie folgt messen:

Man schaltet in den Stromkreis eines Elements R, siehe Figur 211, eine Tangentenbussole G und bemerkt den Ablenkungswinkel der Magnetnadel der letzteren. Alsdann schaltet man ein zweites, dem ersten genau gleiches Element neben das erste, d. h. man verbindet die gleichnamigen Pole der beiden Elemente R, siehe Figur 212, und fügt in den Stromkreis dieses doppelten Elements dieselbe Tangentenbussole G und einen Rheostat S, an welchem man so viel Widerstand einschaltet, bis der Ablenkungswinkel wieder der gleiche ist, wie vorher. Da nun die beiden parallel-

Figur 211.



Figur 212.



Erkl. 596. In nebenstehender Gleichung d). erhält r ein $+$ Vorzeichen, wenn man in den Stromkreis des zweiten Elements, dessen Widerstand W_1 zu messen ist, den Widerstand r einschalten musste, um die gleiche Stromstärke J zu erhalten, welche der Stromkreis des Vergleichs-Elements besitzt; dagegen erhält r ein — Vorzeichen, wenn r ausgeschaltet werden musste, um die Stromstärke J zu erhalten.

geschalteten Elemente nach Antwort auf Frage 342 den halben Widerstand eines einzigen Elements besitzen, so bestehen, wenn man

mit E die elektromotorische Kraft,
mit W den zu messenden Widerstand eines dieser Elemente,
mit J die Stromstärke bei beiden eben erwähnten Bestimmungen und
mit r den bei der zweiten Bestimmung eingeschalteten bekannten Widerstand bezeichnet,

für die beiden erwähnten Stromkreise bezw. die Relationen:

a). $J = \frac{E}{W}$

und

b). $J = \frac{E}{\frac{W}{2} + r}$

mithin hat man zur Bestimmung des Widerstands W die Relation:

$$\frac{W}{2} = r$$

oder:

c). $W = 2r$

Ist der Widerstand W eines Elements bestimmt, und soll der Widerstand W_1 eines grösseren oder kleineren Elements von gleicher elektromotorischer Kraft bestimmt werden, so schaltet man ein und dieselbe Tangentenbussole einmal in den Stromkreis des einen, einmal in den Stromkreis des zweiten Elements ein und bringt durch Ein- oder Ausschalten eines entsprechenden Widerstands r die Stromstärke J in beiden Fällen auf den gleichen Wert. Es bestehen alsdann für die beiden Stromkreise die Relationen:

$$J = \frac{E}{W}$$

und

$$J = \frac{E}{W_1 \pm r}$$

also hat man zur Bestimmung des gesuchten Widerstands W_1 aus den bekannten Widerständen W und r die fernere Relation:

d). $W_1 \pm r = W$ (siehe Erkl. 596).

Frage 374. Wie kann man nach *Siemens* den Widerstand von Rheomotoren messen?

Antwort. Den Widerstand von Rheomotoren kann man nach *Siemens* wie folgt messen:

Erkl. 597. Werden zwei genau gleiche Elemente, d. h. zwei Elemente von gleicher elektromotorischer Kraft und gleichem Widerstand, mit den gleichnamigen Polen verbunden, so ist die Stromrichtung in dem einen Element derjenigen in dem andern Element entgegengesetzt. Werden diese so verbundenen Elemente in den Stromkreis eines Rheomotors eingeschaltet, so äussern dieselben keinen Strom, weil die gleich starken Ströme der beiden Elemente sich aufheben. Die so verbundenen Elemente verhalten sich somit wie jeder stromlose Leiter.

Man verbindet die einen gleichnamigen Pole zweier ganz gleicher Elemente und misst deren Widerstand nach einer der in Antwort auf Frage 360 für feste Leiter angegebenen Methoden. Der für beide Elemente gefundene Widerstand ist alsdann doppelt so gross als der Widerstand eines einzelnen derselben (siehe Erkl. 597).

Frage 375. Wie kann man den Widerstand der Diaphragmen der Elemente messen?

Antwort. Den Widerstand des Diaphragmas (siehe Antw. auf Frage 130) eines Elements mit einer Flüssigkeit (siehe Antwort auf Frage 43) kann man messen, indem man das Diaphragma in die betreffende Flüssigkeit zwischen die Elektroden setzt, den Widerstand misst, dann das Diaphragma entfernt und die Messung wiederholt. Die Differenz der bei beiden Messungen gefundenen Widerstände ist gleich dem Widerstand des Diaphragmas.

Den Widerstand des Diaphragmas eines Elements mit zwei Flüssigkeiten (siehe Antwort auf Frage 84) bestimmt man durch Messung des Widerstands des Elements bei zwei verschiedenen Abständen der beiden Elektroden von dem Diaphragma. Die Differenz des Widerstands ist der Widerstand der ausgeschalteten Flüssigkeiten, aus welcher man den Gesamtwiderstand der Flüssigkeiten zwischen den Elektroden berechnet. Subtrahiert man diesen Gesamtwiderstand der Flüssigkeiten von dem bei der ersten Messung erhaltenen Widerstand des Elements, so ist das Resultat gleich dem Widerstand des Diaphragmas.

6). Ueber die Messung der elektromotorischen Kraft.

A). Ueber die Einheiten der elektromotorischen Kraft.

Frage 376. Welches sind die gebräuchlichsten Masseinheiten der elektromotorischen Kraft?

Antwort. Die gebräuchlichsten Masseinheiten der elektromotorischen Kraft sind:

1). Die elektromotorische Kraft eines Normal-Daniell-Elements (siehe folgende Antwort),
2). das Volt (siehe Antw. auf Frage 379).

Frage 377. Welches sind die bekanntesten Normal-Elemente?

Antwort. Die bekanntesten Normal-Elemente sind (siehe Erkl. 598):
1). Das Normal-Daniell-Element von *Buff* (siehe Antwort auf Frage 89 und Figur 52);
2). das Normal-Daniell-Element von *Raoult* (siehe Antwort auf Frage 90 und Figur 53);
3). das Normal-Daniell-Element von *Lodge* (siehe Antwort auf Frage 101 und Figur 67);
4). die Chlorsilber-Elemente (siehe die Antworten auf die Fragen 117 und 118 und Erkl. 599);
5). das Normal-Element von *Latimer Clark* (siehe Antw. auf Frage 121).

Erkl. 598. Setzt man die elektromotorische Kraft des Daniell-Elements $= D$, so ist die elektromotorische Kraft

eines Chlorsilber-Elements $= 0{,}944\,D$,
des Elements von *Latimer Clark* $= 1{,}290\,D$.

Frage 378. Was ist über die Zusammensetzung eines Daniell-Elements, welches als Normal-Element benutzt werden soll, zu bemerken, und welche Eigenschaften besitzt ein solches Normal-Element?

Antwort. Ein Daniell-Element, welches als Normal-Element (s. Erkl. 137) dienen soll, enthält amalgamiertes Zink in neutraler Lösung von schwefelsaurem Zink (siehe Erkl. 598) und Kupfer in konzentrierter Lösung von schwefelsaurem Kupfer (betreffs der Daniell-Elemente siehe die Antworten auf die Fragen 87 bis 101). Ein solches Element besitzt folgende Eigenschaften:

1). Die amalgamierte Zinkplatte wird beim Stromschluss in neutraler Lösung von schwefelsaurem Zink so gut wie gar nicht polarisiert; die Kupferplatte zeigt in konzentrierter Kupfervitriollösung ebenfalls nur eine sehr geringe Polarisation.

2). Die elektromotorische Kraft eines solchen Elements ändert sich kaum, wenn das Element seine Temperatur zwischen 10 und 50° Celsius ändert.

3). Wird die Lösung des schwefelsauren Zinks bis auf ihr 20faches Volumen mit Wasser verdünnt, so ändert sich die elektromotorische Kraft des Elements fast gar nicht.

4). Die elektromotorische Kraft wird kaum dadurch geändert, wenn (nach einigem Gebrauch des Elements) die schwefelsaure Zinklösung in die schwefelsaure

Erkl. 599. Bei der Herstellung von Normal-Elementen ist folgendes zu beachten:

1). Ist das verwendete schwefelsaure Zink etwas sauer, so muss dessen Lösung zur Neutralisierung der freien Säure mit Zinkoxyd behandelt werden.

2). Die schwefelsaure Kupferlösung muss stets möglichst konzentriert gehalten werden, um die Polarisation der Kupferelektrode zu vermeiden.

3). Die schwefelsaure Kupferlösung darf nicht bis zur Zinkelektrode diffundieren, damit sich auf der Zinkelektrode nicht Kupfer niederschlägt, wodurch die elektromotorische Kraft sich ändern würde.

Erkl. 599a. Wird in dem Daniell-Element 30prozentige Lösung von schwefelsaurem Zink angewendet, so ist die elektromotorische Kraft desselben nur 3 Prozent grösser als bei Anwendung von 3prozentiger Lösung.

Wird in dem Daniell-Element 4prozentige Lösung von schwefelsaurem Kupfer angewendet, so ist die elektromotorische Kraft des Elements nur 1 Prozent grösser als bei Anwendung von 19prozentiger Lösung.

Kupferlösung hineindiffundiert (siehe die Erkl. 599 und 599a).

Frage 379. Was kann man im allgemeinen über das Volt als Masseinheit der elektromotorischen Kraft aussagen, und in welchem Verhältnis steht das Volt zu dem Daniell?

Erkl. 600. Das Volt wurde von dem Kongress der Elektrotechniker im Jahre 1882 als technische Einheit der elektromotorischen Kraft festgesetzt (siehe die Erkl. 510, 577 und 600a).

Antwort. Das Volt als technische Masseinheit der elektromotorischen Kraft ist aus dem absoluten oder Centimeter-Gramm-Sekundensystem hergeleitet, und zwar ist 1 Volt $= 10^8$ Centimeter-Gramm (siehe Erkl. 600).

Zwischen dem Volt und dem Daniell besteht die Relation:

1 Volt = 0,89 Daniell,

oder:

1 Daniell = 1,124 Volt.

Frage 380. Welche Relation besteht zwischen den technischen Masseinheiten Volt, Ohm und Ampère?

Erkl. 600a. Wie in den Antworten auf die Fragen 359 und 377 und in Erkl. 510 erwähnt, ist:

1 Ampère $= 10^{-1}$ oder $= 0,1$ Centimeter-Gramm
1 Ohm $= 10^9$ „ „
1 Volt $= 10^8$ „ „

Antwort. Drückt man die Stromstärke J eines Stromkreises in Ampère, den Widerstand W in Ohm aus, so erhält man die elektromotorische Kraft dieses Stromkreises in Volt, und zwar nach der Ohmschen Gleichung:

$$J = \frac{E}{W} \text{ Ampère},$$

woraus sich für die elektromotorische Kraft die Gleichung:

$$E = J\,W \text{ Volt}$$

und für den Widerstand die Gleichung:

$$W = \frac{E}{J} \text{ Ohm}$$

ergibt (siehe Erkl. 600a).

Frage 381. Welche Beziehungen bestehen im allgemeinen zwischen den Masseinheiten der Stromstärke, des Widerstands und der elektromotorischen Kraft?

Antwort. Zwischen den Masseinheiten der Stromstärke J, des Widerstands W und der elektromotorischen Kraft E besteht die Beziehung, dass, wenn zwei dieser Masseinheiten gegeben sind, sich die dritte aus der Ohmschen Gleichung:

$$\text{a)} \ldots \ldots \quad J = \frac{E}{W}$$

ergibt.

Sind die Einheiten für E und W gegeben, so hat man nach Gleichung a). für die Stromstärke:

b). $J = \frac{E}{W}$ Stromstärkeeinheiten.

Sind die Einheiten für J und E gegeben, so hat man für den Widerstand:

c). $W = \frac{E}{J}$ Widerstandseinheiten.

Sind die Einheiten für J und W gegeben, so hat man für die elektromotorische Kraft:

d). $E = JW$ Einheiten der elektromotrischen Kraft.

B). Ueber die Messung der elektromotorischen Kraft der galvanischen Elemente.

Frage 382. Welches sind die einfachsten Methoden der Messung der elektromotorischen Kraft?

Antwort. Einige der einfachsten Methoden der Messung der elektromotorischen Kraft sind (siehe die Erkl. 601 und 602):

1). Die Methoden von *Fechner* (siehe Antwort auf Frage 383);
2). die Methode von *Ohm* (siehe Antwort auf Frage 384);
3). die Methode von *Wheatstone* (siehe Antwort auf Frage 385);
4). die Methode von *Poggendorff* (siehe Antwort auf Frage 386);
5). die Kompensationsmethoden von *Poggendorff* (siehe Antwort auf Frage 387);
6). die Kompensationsmethode von *du Bois Raymond* (siehe Antwort auf Frage 388).

Erkl. 601. Zur Messung elektromotorischer Kräfte sind zahlreiche Methoden angegeben worden. In nebenstehender Antwort sind nur einige der einfachsten Methoden erwähnt, und zwar solche, welche speziell zur Messung elektromotorischer Kräfte von galvanischen Elementen dienen.

Diejenigen Methoden, welche zur Messung grosser elektromotorischer Kräfte bezw. Spannungsdifferenzen, wie sie in der Elektrotechnik Anwendung finden, dienen, und die hierzu verwendeten Spannungsmessinstrumente findet man in den speziellen technischen Lehrbüchern dieser Encyklopädie.

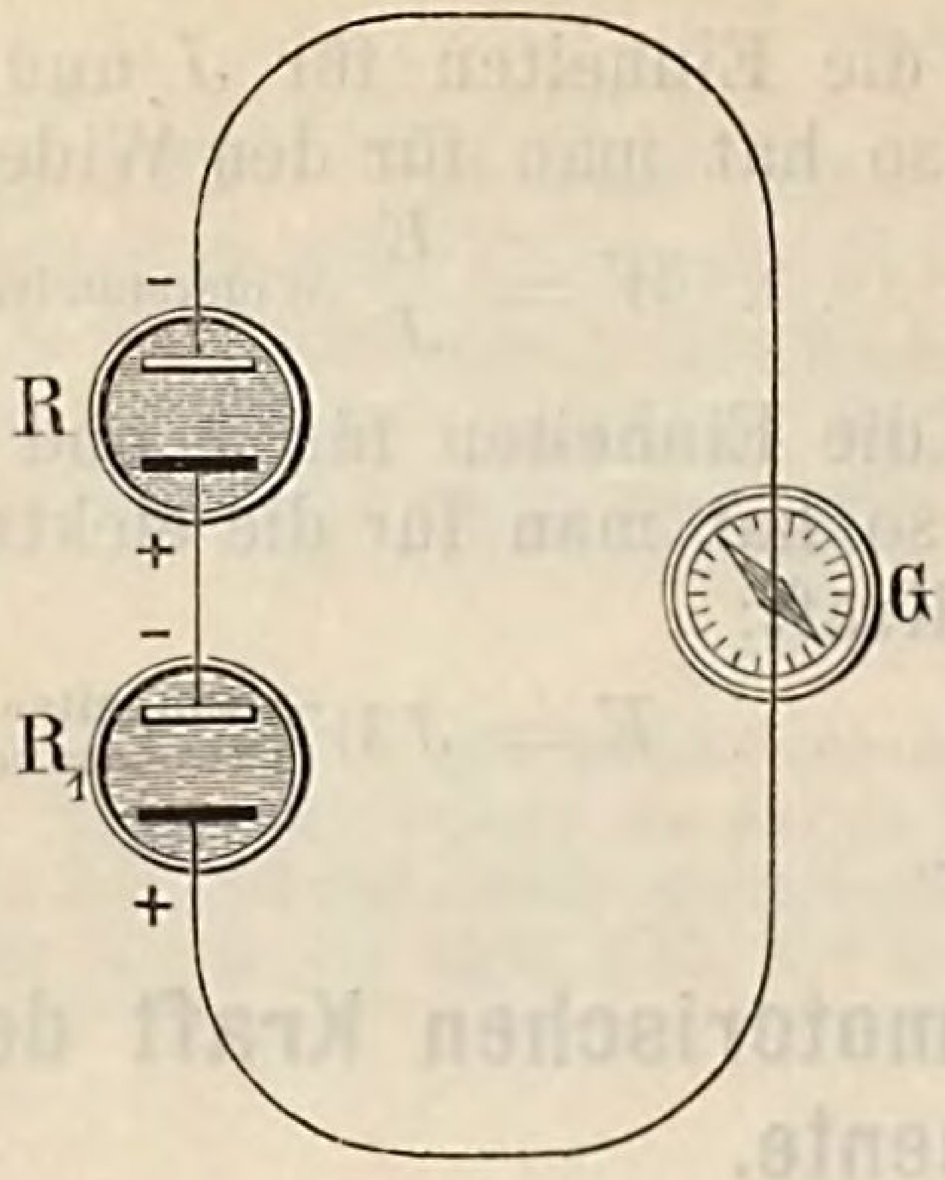
Frage 383. Wie kann man nach *Fechner* elektromotorische Kräfte durch Messung von Stromstärken bestimmen?

Antwort. Nach *Fechner* kann man elektromotorische Kräfte durch Messung von Stromstärken bestimmen wie folgt:

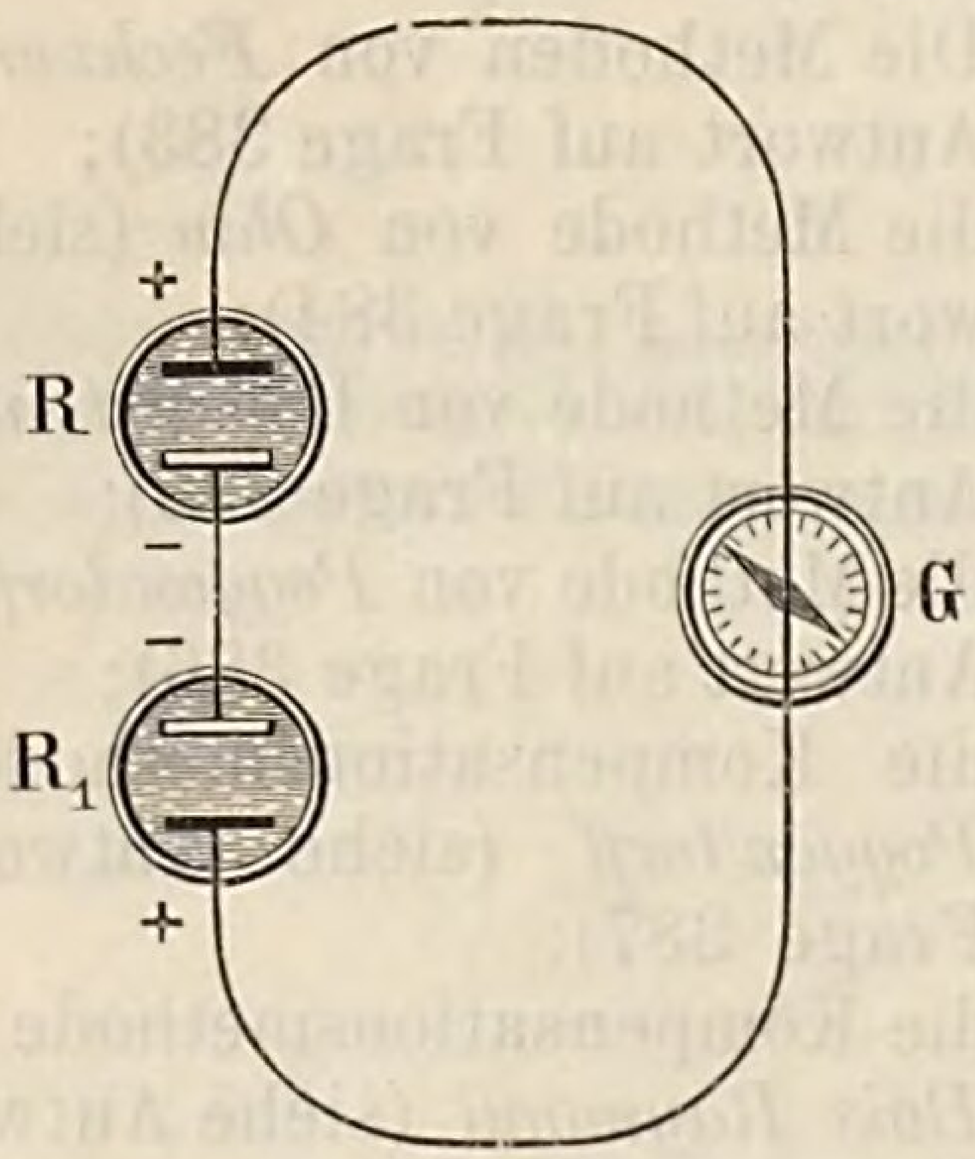
Man schaltet das zu messende galvanische Element R, siehe Figur 213, hinter das Normal-Element R_1 und misst die sich hierbei ergebende Stromstärke mittels einer Tangentenbussole G. Alsdann schaltet man die Elemente R und R_1 gegeneinander, siehe Figur 214, d. h. man verbindet die einen gleichnamigen Pole beider Elemente, so dass die Stromrichtungen beider Elemente entgegengesetzt sind und misst die sich nunmehr ergebende Stromstärke.

Erkl. 602. Die in Antwort auf Frage 382 unter 1). bis 3). angegebenen Methoden können nur auf konstante Elemente angewendet werden. Die unter 4). und 5). angegebenen Methoden sind für alle Elemente brauchbar und sind den unter 1). bis 3). angegebenen Methoden vorzuziehen, weil bei ersteren der Einfluss der Polarisation beseitigt ist (siehe Erkl. 609).

Figur 213.



Figur 214.



Bezeichnet man
die zu messende elektromotorische Kraft mit E,
die als Masseinheit dienende elektromotorische Kraft des Normal-Elements mit E_1,
den Widerstand des zu messenden Elements mit w,
den Widerstand des Normal-Elements mit w_1,
den äusseren Widerstand des ganzen Stromkreises mit r,
die Stromstärke bei Hintereinanderschaltung der Elemente mit J,
die Stromstärke bei Gegeneinanderschaltung der Elemente mit i,

so besteht nach dem Ohmschen Gesetz für die Stromstärke J die Relation:

$$\text{a).} \quad . \; . \; . \quad J = \frac{E + E_1}{w + w_1 + r}$$

und für die Stromstärke i die Relation:

$$\text{b).} \quad . \; . \; . \quad i = \frac{E_1 - E}{w + w_1 + r}$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich:

$$\frac{E + E_1}{J} = \frac{E_1 - E}{i}$$

oder:

$$Ei + E_1 i = E_1 J - EJ$$

oder:

$$E(J + i) = E_1 (J - i)$$

mithin:

$$\text{c).} \quad . \; . \; . \quad E = E_1 \cdot \frac{J - i}{J + i}$$

mittels welcher Gleichung man somit die gesuchte elektromotorische Kraft aus der gegebenen elektromotorischen Kraft des Normal-Elements und den gemessenen Stromstärken J und i berechnen kann.

Frage 384. Wie kann man nach *Ohm* elektromotorische Kräfte durch Messung von Stromstärken bestimmen?

Antwort. Nach *Ohm* kann man elektromotorische Kräfte durch Messung von Stromstärken bestimmen wie folgt:

Man schaltet in den Stromkreis des zu untersuchenden Elements eine Tangentenbussole und bestimmt die Stromstärke dieses Stromkreises. Alsdann fügt man einen bekannten Widerstand in den Stromkreis und bestimmt wiederum die Stromstärke.

Bezeichnet man
die zu messende elektromotorische Kraft des Elements mit E,
den unbekannten Gesamtwiderstand des Stromkreises bei der ersten Stromstärkemessung mit r,
den bei der zweiten Stromstärkemessung eingeschalteten bekannten Widerstand mit w,
die erstgemessene Stromstärke mit J,
die zweitgemessene Stromstärke mit J_1,

so bestehen für die beiden Stromstärken nach dem Ohmschen Gesetz die Relationen:

a). $J = \frac{E}{r}$

und

b). $J_1 = \frac{E}{r+w}$

Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich:

c). $r = \frac{E}{J}$

und

d). $(r+w)J_1 = E$

oder:

$$rJ_1 = E - wJ_1$$

somit:

e). $r = \frac{E - wJ_1}{J_1}$

Nach den Gleichungen c). und e). ist also auch:

$$\frac{E}{J} = \frac{E - wJ_1}{J_1}$$

oder:

$$EJ - EJ_1 = wJJ_1$$

mithin:

f). . . . $E = w \cdot \frac{JJ_1}{J - J_1}$

mittels welcher Gleichung man sonach die elektromotorische Kraft aus den gemessenen Stromstärken und dem bei der einen Messung eingefügten bekannten Widerstand bestimmen kann.

Bestimmt man in gleicher Weise und unter Anwendung der gleichen Masseinheiten für Stromstärke bezw. Widerstand die elektromotorische Kraft E_1 eines Normal-Elements, so kann man E mit E_1 vergleichen.

Verwendet man bei der Messung der elektromotorischen Kraft E_1 des Vergleichs-Elements den gleichen Widerstand w, wie bei der obigen Messung,

Erkl. 603. Hat man bei der nebenstehend beschriebenen Messmethode die Stromstärke in Ampère und den Wert des Widerstands w in Ohm ausgedrückt, so erhält man nach Antwort auf Frage 378 aus Gleichung f). die elektromotorische Kraft E in Volt.

Erkl. 604. Hat man die Stromstärke in einem chemischen Mass, den Widerstand in einer willkürlichen Einheit ausgedrückt, und bezeichnet man den sich hierbei für $\frac{JJ_1}{J-J_1}$ [siehe nebenstehende Gleichung f).] ergebenden Zahlenwert mit n, den sich für $\frac{ii_1}{i-i_1}$ [siehe nebenstehende Gleichung g).] ergebenden Zahlenwert mit n_1, so besteht die Proportion:

$$E : E_1 = wn : wn_1$$

oder:

$$E : E_1 = n : n_1$$

Nimmt man nun die elektromotorische Kraft E_1 des Normal-Elements als Einheit der elektromotorischen Kraft an, so ist:

$$E = \frac{n}{n_1} \text{ dieser Einheiten der elektromotorischen Kraft.}$$

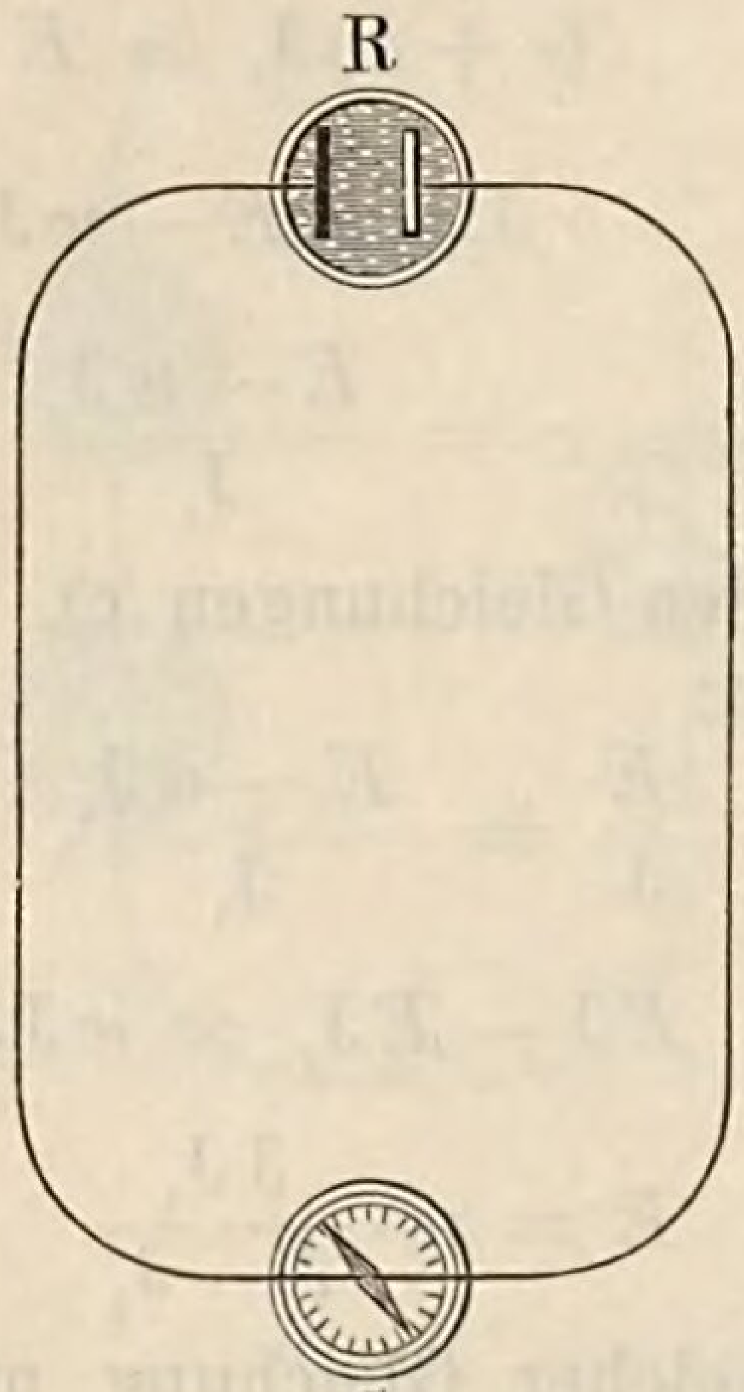
und sind die nun erhaltenen Stromstärken i und i_1, so erhält man entsprechend der Gleichung d). für die elektromotorische Kraft E_1 des Vergleichs-Elements:

$$\text{g}). \quad . \quad . \quad E_1 = w \cdot \frac{i\, i_1}{i - i_1}$$

(Siehe die Erkl. 603 und 604.)

Frage 385. Wie kann man nach *Wheatstone* elektromotorische Kräfte durch Messung von Widerständen bezw. von Drahtlängen bestimmen?

Figur 215.



Antwort. Nach *Wheatstone* kann man elektromotorische Kräfte durch Messung von Widerständen bezw. von Drahtlängen bestimmen wie folgt:

Man schaltet in den Stromkreis des zu untersuchenden Elements R, siehe Figur 215, eine Tangentenbussole und bemerkt

1). den Ablenkungswinkel der Nadel der Bussole. Alsdann schaltet man mittels eines Rheostats S, siehe Figur 216,

2). einen bekannten Widerstand in diesen Stromkreis ein und bemerkt den nunmehr sich ergebenden Ablenkungswinkel. Nun schaltet man

3). dieselbe Tangentenbussole in den Stromkreis eines Normal-Elements R_1, siehe Figur 217, ein, und fügt mittels des Rheostats S soviel Widerstand in diesen Stromkreis, dass die Nadel der Bussole dieselben Ablenkungswinkel wie bei der unter 1). bezeichneten Beobachtung zeigt. Schliesslich schaltet man

4). soviel Widerstandseinheiten in den Stromkreis dieses Normal-Elements, dass die Nadel der Bussole den unter 2). beobachteten Ablenkungswinkel zeigt.

Bezeichnet man

die dem unter 1). und 3). beobachteten Ablenkungswinkel entsprechende Stromstärke mit J,

die dem unter 2). und 4). beobachteten Ablenkungswinkel entsprechende Stromstärke mit J_1,

den Widerstand des unter 1): erwähnten Stromkreises mit r,

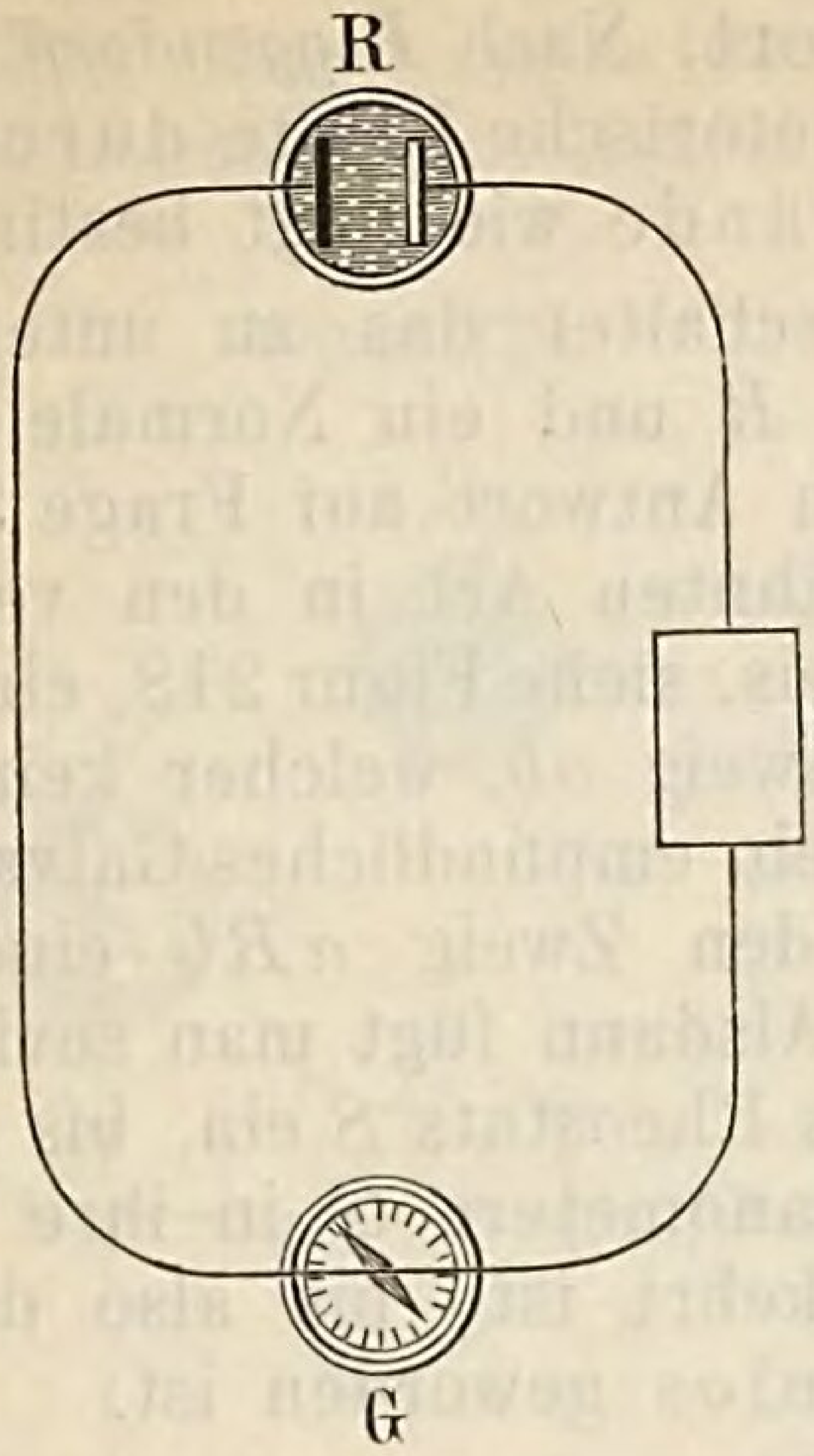
den Widerstand des unter 3). erwähnten Stromkreises mit R,

den unter 2). erwähnten, dem Widerstand r hinzugefügten bekannten Widerstand mit w,

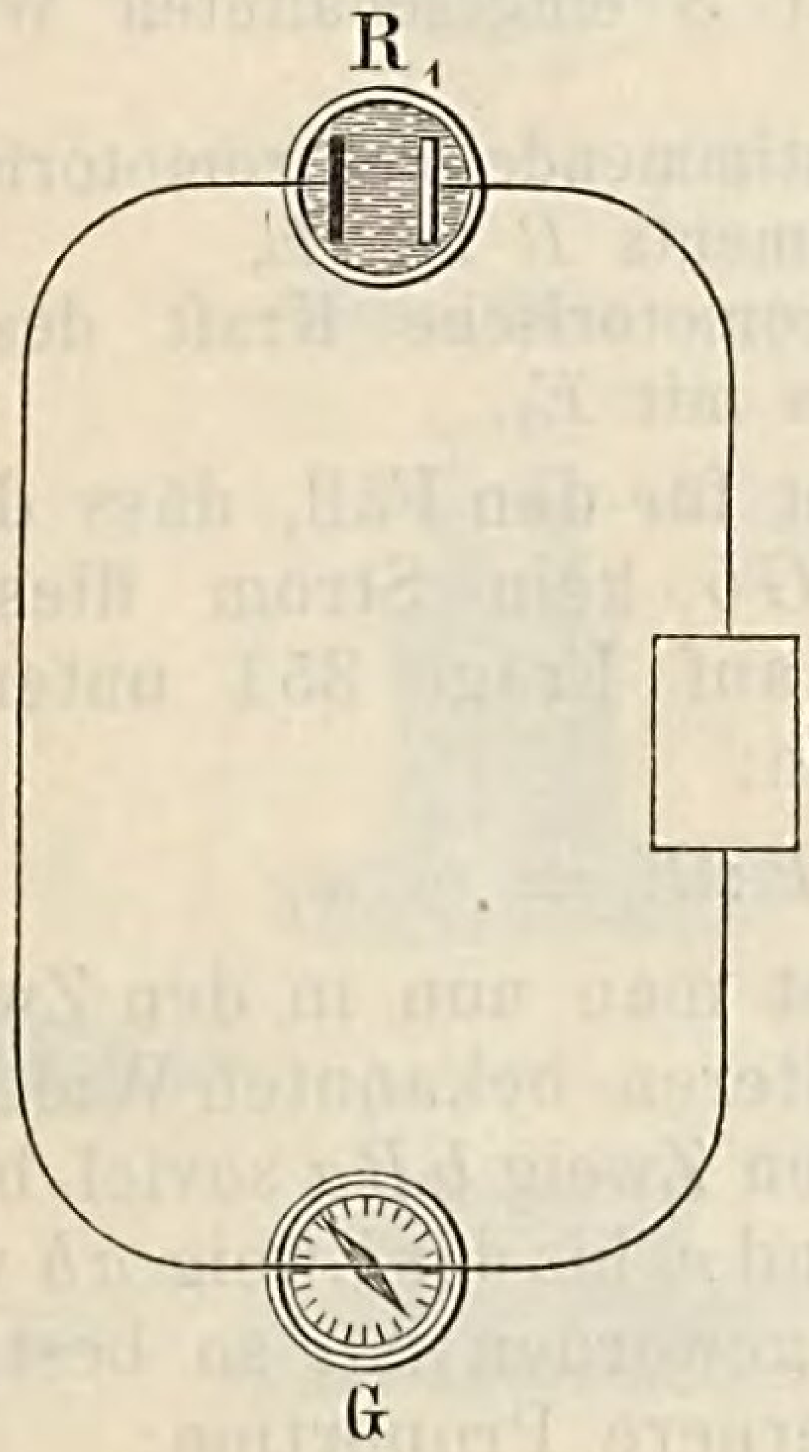
den unter 4). erwähnten, dem Widerstand R hinzugefügten Widerstand mit W,

die zu bestimmende elektromotorische Kraft mit E,

Figur 216.



Figur 217.



die elektromotorische Kraft des Normal-Elements mit E_1,

so kann man E durch E_1, w und W wie folgt bestimmen:

Nach dem Ohmschen Gesetz ist für den unter 1). erwähnten Stromkreis:

a). $J = \frac{E}{r}$

für den unter 2). erwähnten Stromkreis:

b). $J_1 = \frac{E}{r + w}$

für den unter 3). erwähnten Stromkreis:

c). $J = \frac{E_1}{R}$

und für den unter 4). erwähnten Stromkreis:

d). $J_1 = \frac{E_1}{R + W}$

Nach voriger Antwort ergibt sich aus den Gleichungen a). und b). die Relation:

e). $E = w \cdot \frac{J J_1}{J - J_1}$

und ebenso ergibt sich aus den Gleichungen c). und d). die Relation:

f). $E_1 = W \cdot \frac{J J_1}{J - J_1}$

Aus den Gleichungen e). und f). erhält man nun die Proportion:

$$E : E_1 = w \cdot \frac{J J_1}{J - J_1} : W \cdot \frac{J J_1}{J - J_1}$$

mithin:

g). $E : E_1 = w : W$

Hat man zur Einschaltung von w bezw. W einen Draht von überall gleichem Querschnitt verwendet (z. B. einen der in den Antworten auf die Fragen 199 und 200 beschriebenen Rheostaten), so braucht man die Grösse der Widerstände w und W nicht zu kennen, sondern man kann, da die Längen l und L des eingeschalteten Rheostatsdrahts alsdann den Widerständen w und W dieser eingeschalteten Drahtlängen proportional sind, d. h. also weil

$$w : W = l : L \text{ ist,}$$

statt dieser Widerstände die Drahtlängen setzen, wodurch man aus Gleichung g).

h). $E : E_1 = l : L$

erhält (siehe Erkl. 605).

Erkl. 605. Nimmt man bei der in nebenstehender Antwort beschriebenen Methode die elektromotorische Kraft E_1 des zur Vergleichung benutzten Normal-Elements als Einheit der elektromotorischen Kraft an, so erhält man für die zu bestimmende elektromotorische Kraft E aus den Gleichungen g). und h).:

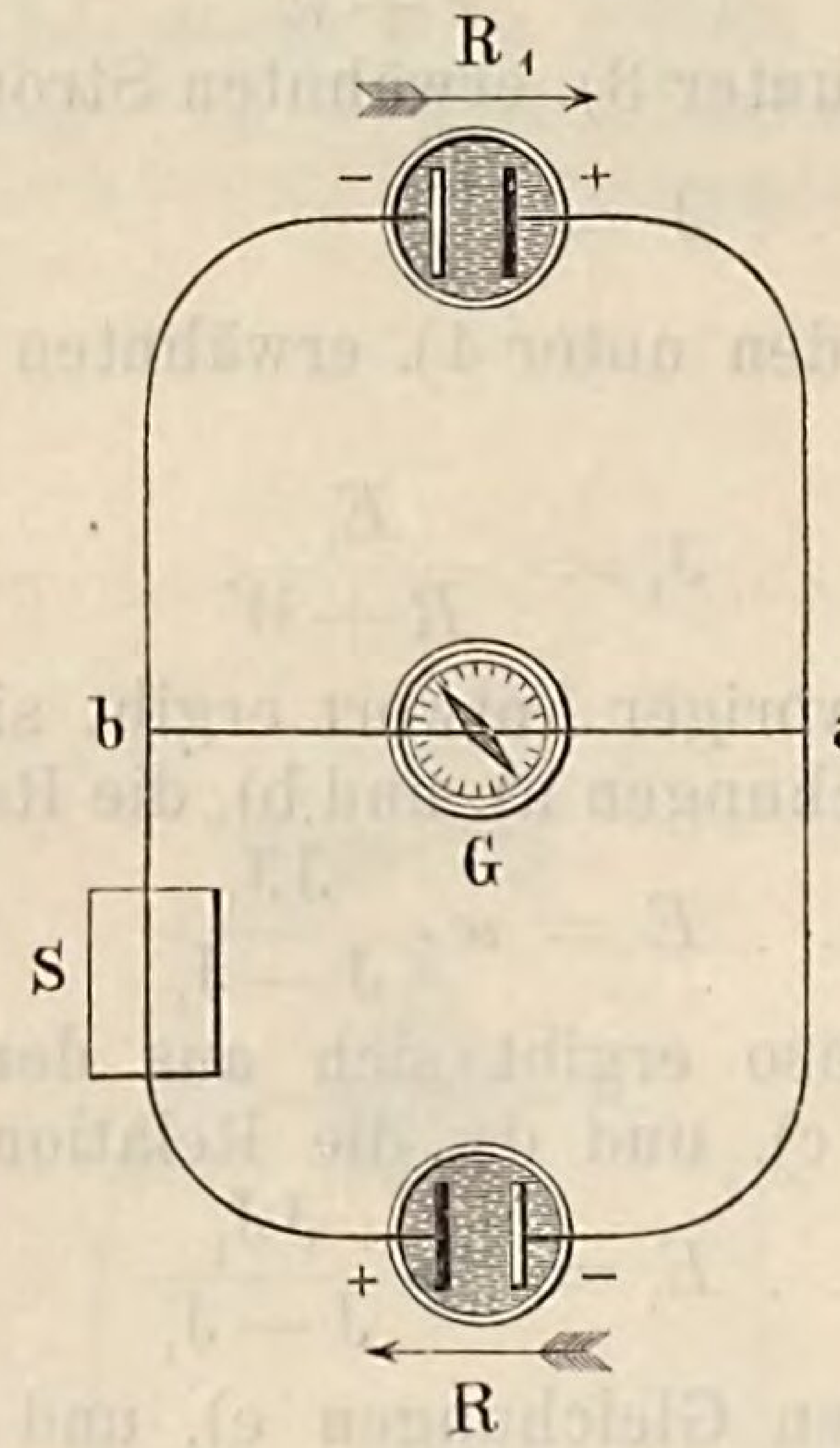
a). $E = \frac{w}{W}$ } dieser Einheiten der elektromotorischen Kraft

und

b). $E = \frac{l}{L}$ } dieser Einheiten der elektromotorischen Kraft.

Frage 386. Wie kann man nach *Poggendorff* elektromotorische Kräfte durch Zweigwiderstände bestimmen?

Figur 218.



Erkl. 606. Nimmt man in nebenstehender Gleichung e). die elektromotorische Kraft E_1 des Normal-Elements als Einheit der elektromotorischen Kraft an, so ist:

$$E = \frac{r}{r_1} \text{ dieser Einheiten der elektromotorischen Kraft.}$$

Antwort. Nach *Poggendorff* kann man elektromotorische Kräfte durch Zweigwiderstände wie folgt bestimmen:

Man schaltet das zu untersuchende Element R und ein Normalelement R_1 in der in Antwort auf Frage 351 unter 4). erwähnten Art in den verzweigten Stromkreis, siehe Figur 218, ein, schaltet in den Zweig ab, welcher kein Element enthält, ein empfindliches Galvanoskop G und in den Zweig aRb einen Rheostat S. Alsdann fügt man soviel Widerstand des Rheostats S ein, bis die Nadel des Galvanometers G in ihre Ruhelage zurückgekehrt ist, bis also der Zweig ab stromlos geworden ist.

Bezeichnet man
den Widerstand des Zweiges aR_1b mit w_1,
die Summe des Widerstands des Zweiges bR_1a und des in den Zweig aRb am Rheostat S eingeschalteten Widerstands mit w,
die zu bestimmende elektromotorische Kraft des Elements R mit E,
die elektromotorische Kraft des Normalelements mit E_1,

so besteht für den Fall, dass durch den Zweig aGb kein Strom fliesst, nach Antwort auf Frage 351 unter 4). die Proportion:

a). . . $E : E_1 = w : w_1$

Schaltet man nun in den Zweig aR_1b einen weiteren bekannten Widerstand r_1 und in den Zweig bRa soviel bekannten Widerstand r, bis der Zweig ab wiederum stromlos geworden ist, so besteht hierfür die fernere Proportion:

b). . . $E : E_1 = w + r : w_1 + r_1$

aus Gleichung b). ergibt sich:

c). . . $Ew_1 + Er_1 = E_1 w + E_1 r$

und aus Gleichung a). ergibt sich:

d). . . $Ew_1 = E_1 w$

Zieht man Gleichung d). von Gleichung c). ab, so erhält man:

$$E r_1 = E_1 r$$

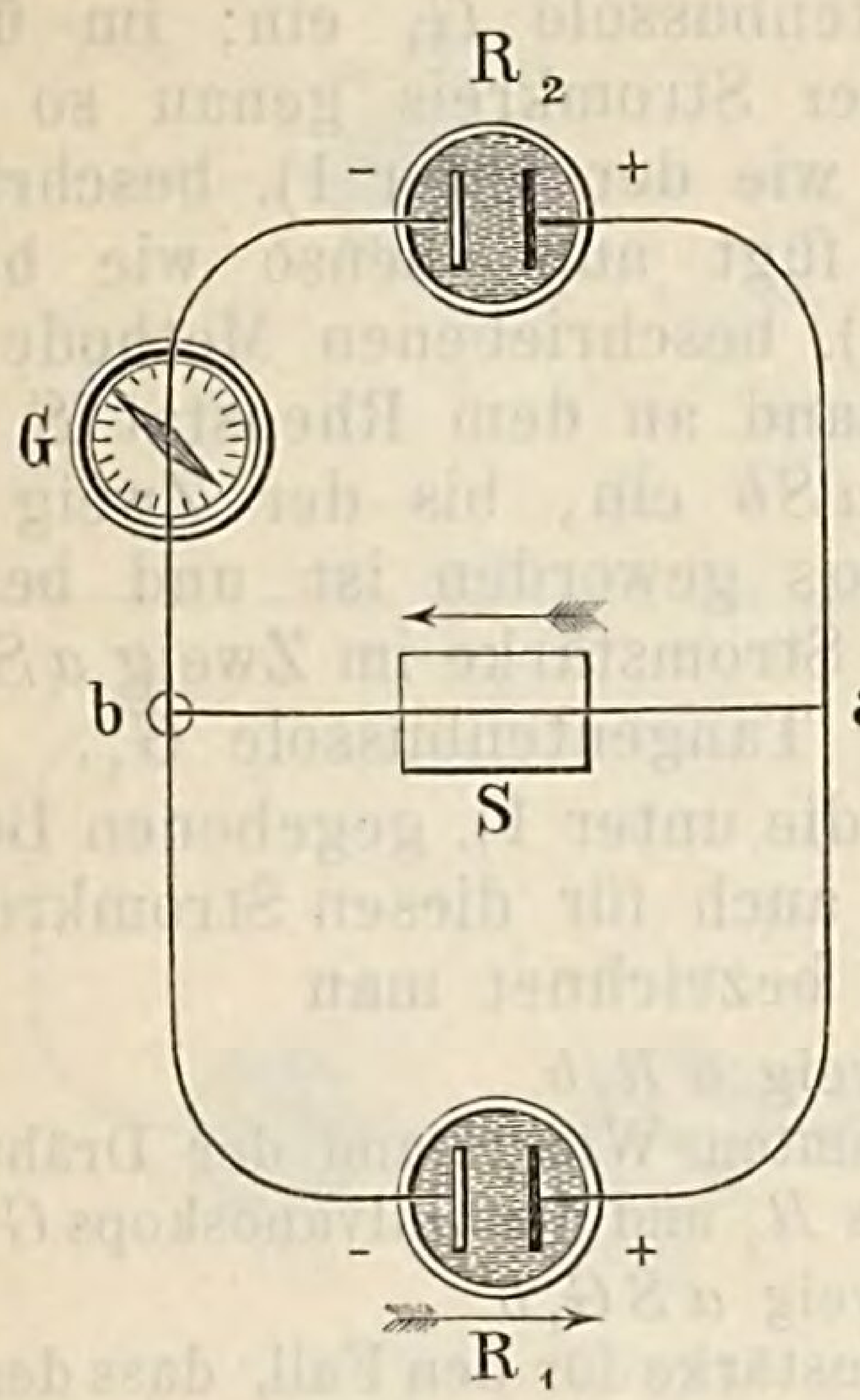
mithin:

e). $E = E_1 \frac{r}{r_1}$

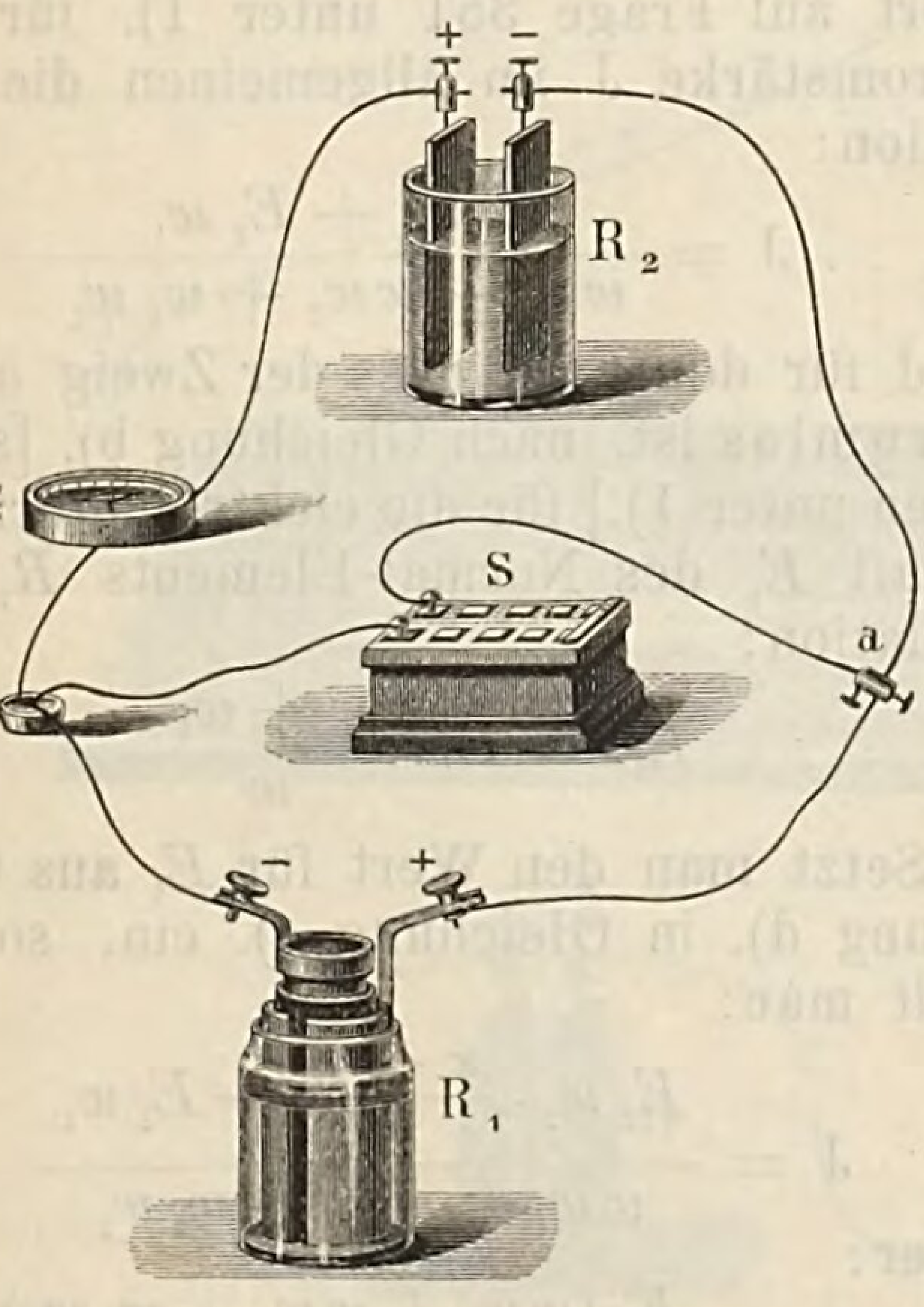
(siehe Erkl. 606).

Frage 387. Wie kann man nach *Poggendorffs* Kompensationsmethoden elektromotorische Kräfte messen?

Figur 219.



Figur 220.



Erkl. 607. Kompensation (vom latein. compensare = ausgleichen) heisst Ausgleichung (siehe Erkl. 608).

Erkl. 608. Das in nebenstehender Antwort verwendete Normal-Element R_1 wird das kompensierende (d. i. ausgleichende), das zu

Antwort. Nach *Poggendorffs* Kompensationsmethoden kann man elektromotorische Kräfte wie folgt bestimmen:

1). Man schaltet in den in Antwort auf Frage 351 unter 1). beschriebenen verzweigten Stromkreis, siehe die Figuren 219 und 220, das zu untersuchende Element R_2 in den Zweig aR_2b, das Normalelement R_1 in den Zweig bR_1a, so dass die gleichnamigen Pole dieser beiden Elemente durch je einen Leiter verbunden sind (siehe Erkl. 610), in den Zweig bR_2 ein empfindliches Galvanoskop G, und in den Zweig ab einen Rheostat S. An dem Abzweigungspunkt b ist ein Quecksilbernäpfchen angebracht (siehe Antwort auf Frage 128), in welches die Leitungsdrähte der Zweige ab, R_2b und R_1b eintauchen.

Man schaltet nun soviel Widerstand am Rheostat S in den Zweig ab ein, bis die Nadel des Galvanoskops G keinen Ausschlag mehr zeigt, bis sonach der Zweig aR_2b stromlos geworden ist. Dabei taucht man den Leitungsdraht von R_2b stets nur auf einen Augenblick in das Quecksilbernäpfchen, um die Polarisation des Elements R_2 zu vermeiden.

Bezeichnet man wie in Antwort auf Frage 351

im Zweig bR_1a
die elektromotorische Kraft des Normalelements R_1 mit E_1,
den gegebenen gesamten Widerstand der Drähte und des Normalelements R_1 mit w_1,

im Zweig bR_2a
die zu bestimmende elektromotorische Kraft des Elements R_2 mit E_2,

im Zweig aSb
den gesamten Widerstand, welcher eingeschaltet werden muss, damit der Zweig aR_2b stromlos wird, mit w,

so besteht nach Antwort auf Frage 351 unter 1). für den Fall, dass der Zweig aR_2b stromlos ist, die Relation:

a). . . $E_2(w + w_1) = E_1 w$

mithin:

b). . . $E_2 = E_1 \cdot \dfrac{w}{w + w_1}$

mittels welcher Gleichung man die zu

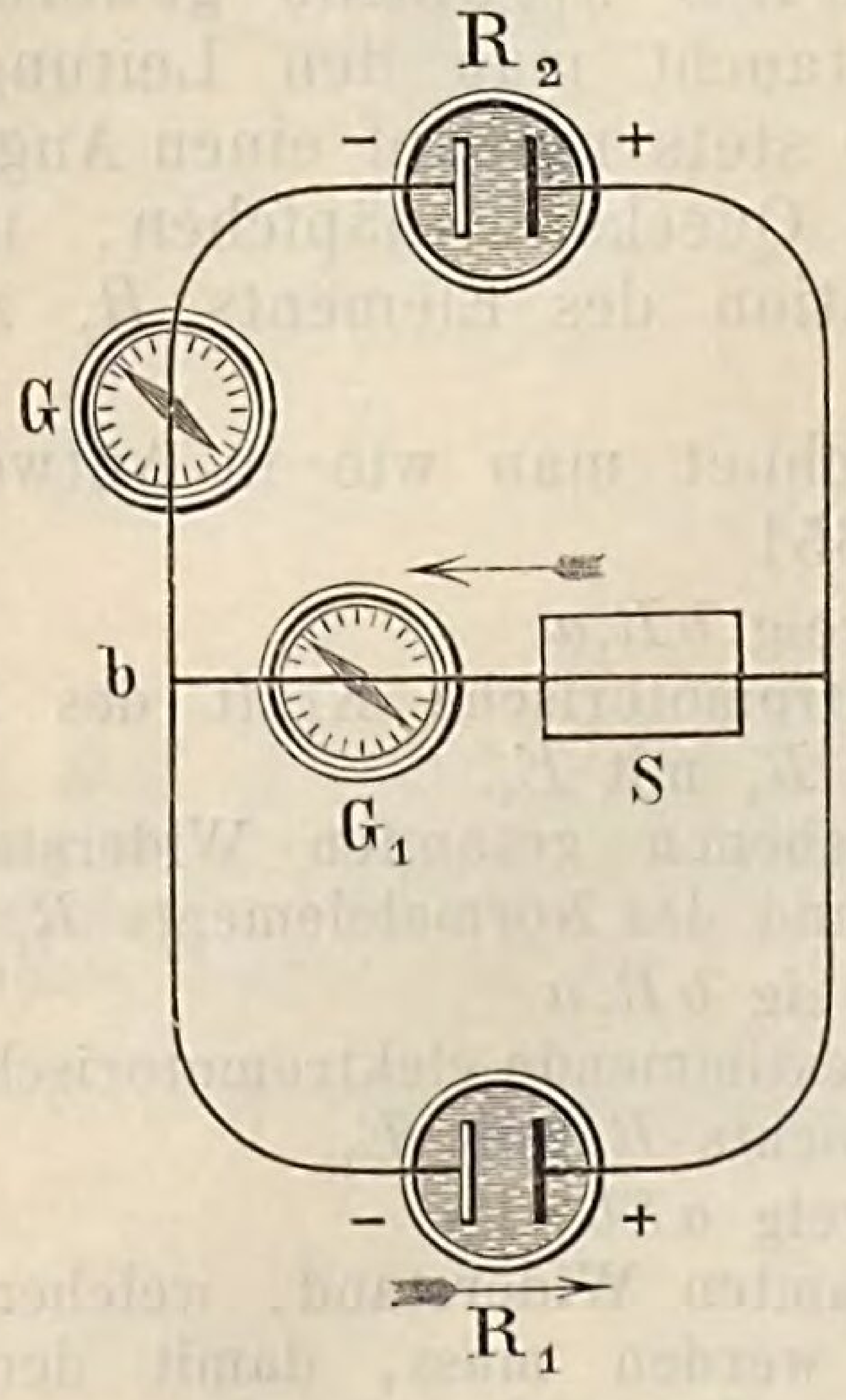
untersuchende Element R das **kompensierte** (ausgeglichene) Element genannt (s. Erkl. 609).

Erkl. 609. Durch die **Kompensation** des zu untersuchenden Elements wird der Einfluss der Polarisation beseitigt, welche nach Antwort auf Frage 225 auftritt, wenn ein Element vom elektrischen Strom durchflossen wird und welche alsdann der elektromotorischen Kraft des Elements entgegenwirkt.

Erkl. 610. Das zu der nebenstehend beschriebenen Messung verwendete Normal-Element R_1 muss eine grössere elektromotorische Kraft haben als das zu untersuchende Element R_2.

Erkl. 611. Bei der in nebenstehender Antwort unter 1). angegebenen Methode muss der Widerstand w_1 bekannt sein; man muss somit den inneren Widerstand des Normal-Elements und denjenigen der Drähte aR_1 und bR_1 messen. Da nun der innere Widerstand auch bei konstanten Elementen sich beim Gebrauch ändert, so ist die unter 1). angegebene Methode nicht ganz genau. Bei der unter 2). angegebenen Methode ist die Kenntnis des Widerstands w_1 nicht erforderlich, dagegen wird die Stromstärke im Zweig aSb gemessen und in Rechnung gezogen.

Figur 221.



Erkl. 612. Aus der in nebenstehender Antwort abgeleiteten Gleichung e). geht hervor, dass man bei der unter 2). beschriebenen Methode für die Bestimmung von E_2 nur die Stromstärke J und den Gesamtwiderstand w im Zweig aSb, siehe Figur 221, zu kennen braucht. Ferner bietet diese Methode den Vorteil, dass eine Aenderung der elektromotorischen Kraft E_1 während der Messung der elektromotorischen Kraft mehrerer Elemente, welche man miteinander vergleichen will, keinen Einfluss ausübt.

bestimmende elektromotorische Kraft aus E_1, w und w_1 berechnen kann (siehe Erkl. 611).

2). Man schaltet in den Zweig aSb [siehe unter 1). und Figur 221] eine Tangentenbussole G_1 ein; im übrigen ist dieser Stromkreis genau so eingerichtet, wie der unter 1). beschriebene.

Man fügt nun ebenso wie bei der unter 1). beschriebenen Methode soviel Widerstand an dem Rheostat S in den Zweig aSb ein, bis der Zweig aR_2b **stromlos** geworden ist und bestimmt nun die Stromstärke im Zweig aSb mittels der Tangentenbussole G_1.

Sind die unter 1). gegebenen Bezeichnungen auch für diesen Stromkreis gültig und bezeichnet man

im Zweig aR_2b
den gesamten Widerstand der Drähte, des Elements R_2 und des Galvanoskops G mit w_2,
im Zweig aSG_1b
die Stromstärke für den Fall, dass der Zweig aR_2b **stromlos** ist, mit J,

so besteht nach Gleichung d). in Antwort auf Frage 351 unter 1). für die Stromstärke J im allgemeinen die Relation:

$$\text{c)}. \ldots J = \frac{E_1 w_2 + E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

und für den Fall, dass der Zweig aR_2b **stromlos** ist, nach Gleichung b). [siehe oben unter 1).] für die elektromotorische Kraft E_1 des Normal-Elements R_1 die Relation:

$$\text{d)}. \ldots E_1 = E_2 \cdot \frac{w + w_1}{w}$$

Setzt man den Wert für E_1 aus Gleichung d). in Gleichung c). ein, so erhält man:

$$J = \frac{E_2 w_2 \cdot \frac{w + w_1}{w} + E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

oder:

$$J = \frac{E_2 (w w_1 + w w_2 + w_1 w_2)}{w (w w_1 + w w_2 + w_1 w_2)}$$

das ist:

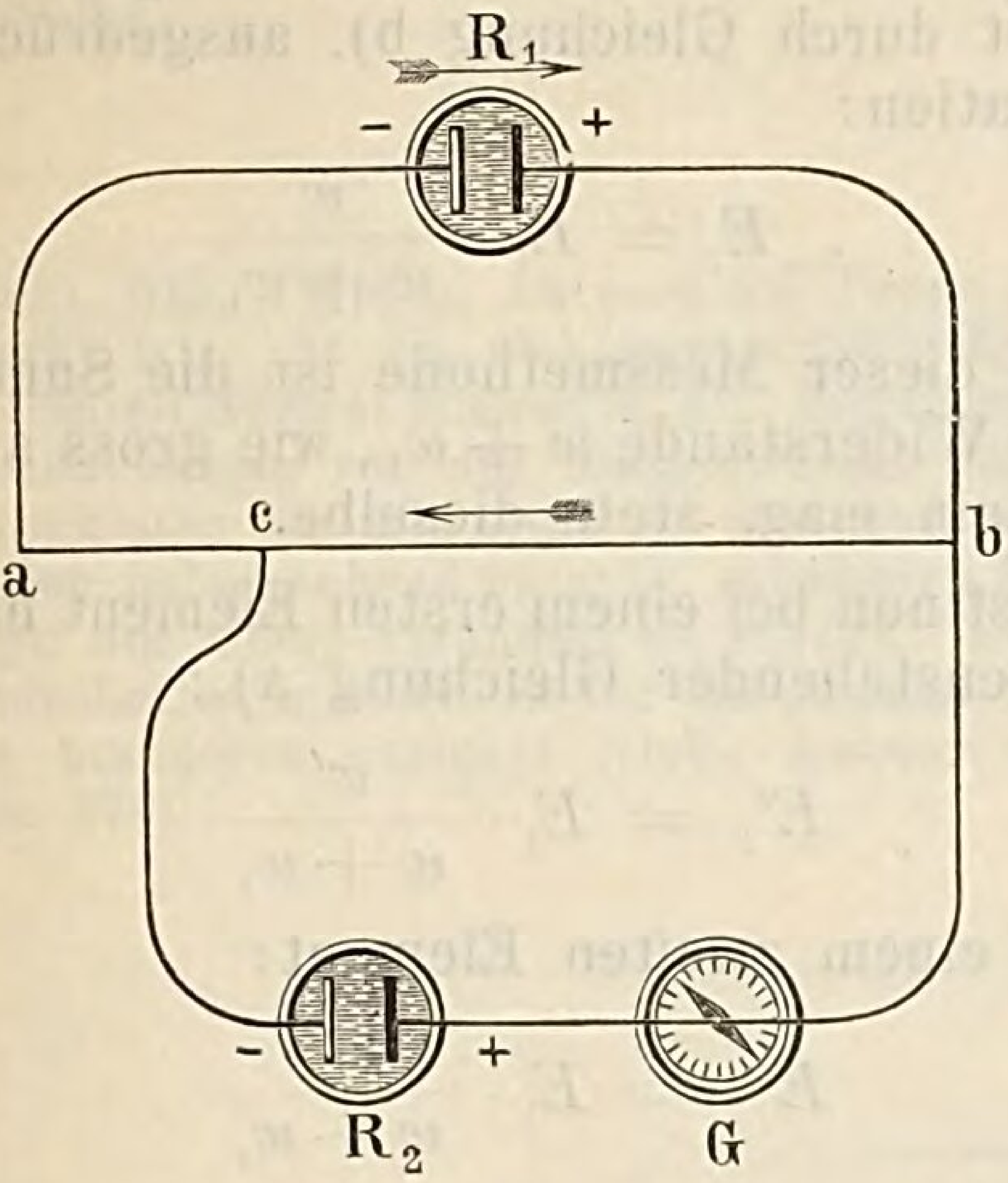
$$J = \frac{E_2}{w}$$

mithin:

$$\text{e)}. \ldots E_2 = J w \quad \text{(siehe Erkl. 612).}$$

Frage 388. Wie kann man nach *du Bois-Raymonds* Kompensationsmethode elektromotorische Kräfte messen?

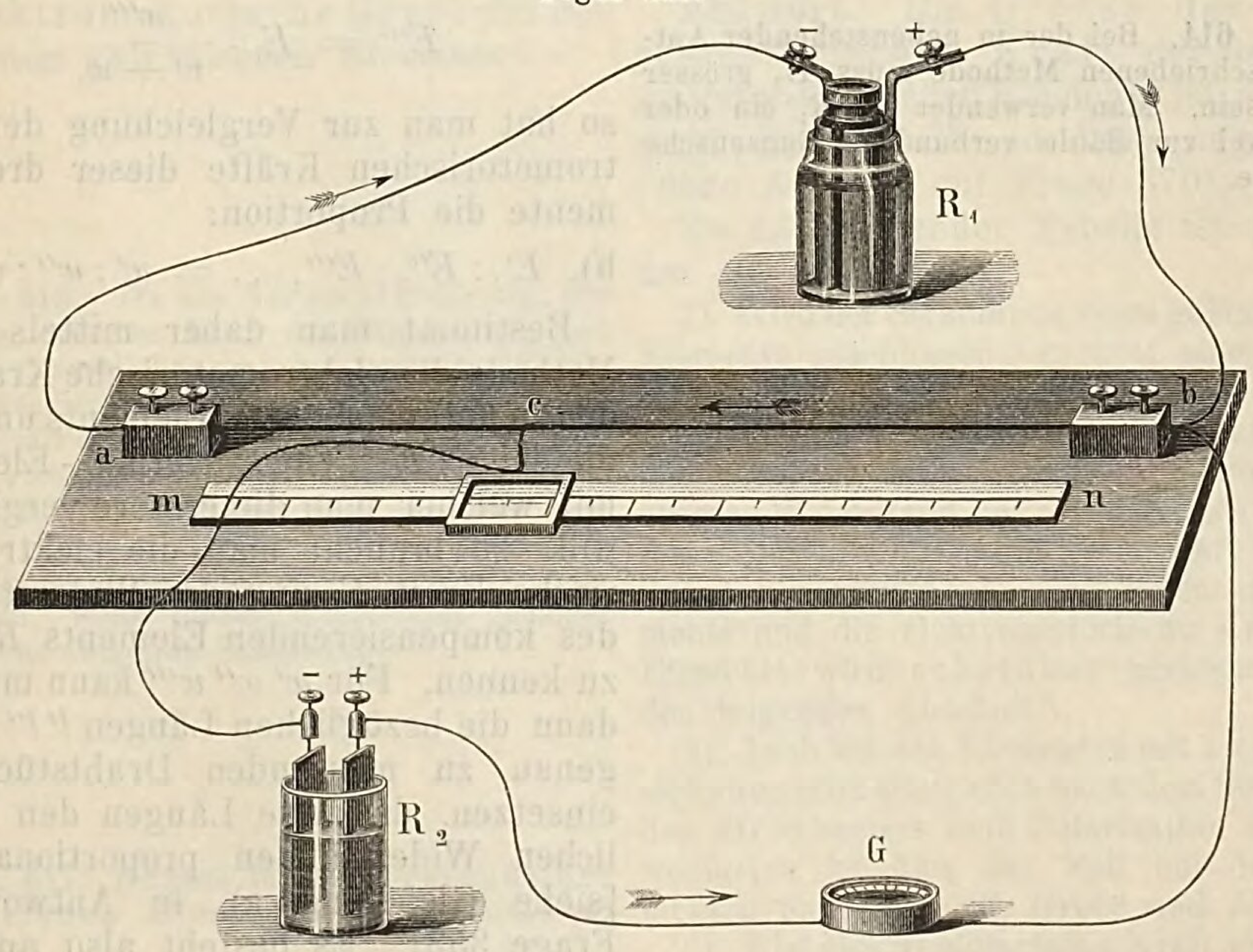
Figur 222.



Antwort. Nach *du Bois-Raymonds* Kompensationsmethode kann man elektromotorische Kräfte wie folgt messen:

Man verbindet, siehe die Figuren 222 und 223, das eine Ende eines Messdrahts (siehe z. B. die in Antwort auf Frage 364 beschriebene Einrichtung), mit den einen gleichnamigen Polen des Normal-Elements R_1 und des zu untersuchenden Elements R_2. Den andern Pol von R_1 verbindet man mit dem Ende a des Messdrahts, den andern Pol von R_2 mit einer auf dem Messdraht verschiebbaren Schneide c. In den Zweig bR_2c schaltet man ein empfindliches Galvanoskop G ein, und stellt nun die Schneide c auf dem Messdraht ab so ein, dass der Zweig bR_2c stromlos wird, die Nadel des Galvanoskop also in ihre Ruhelage zurückkehrt.

Figur 223.



Bezeichnet man entsprechend dem in voriger Antwort unter 1). Erwähnten

die elektromotorische Kraft des zu untersuchenden Elements mit E_2,

diejenige des Normal-Elements mit E_1,

den Widerstand des Zweiges bR_1ac mit w_1,

den Widerstand des Stückes bc des Messdrahts, welcher eingeschaltet werden muss, um den Zweig bR_2c stromlos zu machen, mit w,

so besteht für den Fall, dass der Zweig bR_2c stromlos ist, die in voriger Antwort durch Gleichung b). ausgedrückte Relation:

$$\text{a).} \quad E_2 = E_1 \cdot \frac{w}{w + w_1}$$

Bei dieser Messmethode ist die Summe der Widerstände $w + w_1$, wie gross auch w sein mag, stets dieselbe.

Ist nun bei einem ersten Element nach nebenstehender Gleichung a).:

$$E'_2 = E_1 \cdot \frac{w'}{w + w_1}$$

bei einem zweiten Element:

$$E''_2 = E_1 \cdot \frac{w''}{w + w_1}$$

bei einem dritten Element:

$$E'''_2 = E_1 \cdot \frac{w'''}{w + w_1}$$

so hat man zur Vergleichung der elektromotorischen Kräfte dieser drei Elemente die Proportion:

$$\text{b).} \quad E'_2 : E''_2 : E'''_2 \ldots = w' : w'' : w''' \ldots$$

Bestimmt man daher mittels dieser Methode die elektromotorische Kraft E''_2 des zu untersuchenden Elements und dann diejenige E'_2 eines Normal-Elements, mit welcher man die erstere vergleichen will, so braucht man die elektromotorische Kraft E_1 und den Widerstand w_1 des kompensierenden Elements R_1 nicht zu kennen. Für w' w'' w''' kann man alsdann die bezüglichen Längen l' l'' l''' des genau zu messenden Drahtstücks bc einsetzen, da diese Längen den bezüglichen Widerständen proportional sind [siehe Gleichung a). in Antwort auf Frage 353]. Es besteht also auch die Proportion:

$$\text{c).} \quad E'_2 : E''_2 : E'''_2 \ldots = l' : l'' : l''' \ldots$$

(siehe die Erkl. 613 und 614).

Erkl. 613. Nimmt man in nebenstehender Gleichung c). die elektromotorische Kraft E'_2 des Normal-Elements als Einheit der elektromotorischen Kraft an, so folgt aus Gleichung c).:

$$E''_2 = \frac{l''}{l'} \left\{ \begin{array}{l} \text{dieser Einheiten der} \\ \text{elektromotorischen Kraft.} \end{array} \right.$$

Erkl. 614. Bei der in nebenstehender Antwort beschriebenen Methode muss E_2 grösser als E_1 sein. Man verwendet für R_1 ein oder auch zwei zur Säule verbundene Bunsensche Elemente.

C). Ueber die elektromotorische Kraft der galvanischen Elemente.

Frage 389. Was ist im allgemeinen über die elektromotorische Kraft der galvanischen Elemente zu bemerken?

Erkl. 615. Wie in Antwort auf Frage 377 bemerkt ist, hat die elektromotorische Kraft des Daniell-Normal Elements die Eigenschaft, fast unabhängig von der Konzentration beider Flüssigkeiten des Elements zu sein und auch von den nebenstehend unter 2). erwähnten Einflüssen nur wenig verändert zu werden. Diese Eigenschaften machen es für ein Normal-Element besonders geeignet (siehe Antwort auf Frage 378).

Antwort. Ueber die elektromotorische Kraft der galvanischen Elemente ist im allgemeinen folgendes zu bemerken:

1). Die elektromotorische Kraft der galvanischen Elemente variiert im allgemeinen zwischen 0,8 bis 2 Volt.

2). Die elektromotorische Kraft der meisten Elemente ist beim Gebrauch der Elemente veränderlich,

a). infolge des Auftretens der Polarisation (siehe Antwort auf Frage 216),

b). infolge der chemischen Veränderungen, welche in den Elementen vorgehen.

3). Die elektromotorische Kraft vieler Elemente ist verschieden je nach der Konzentration der angewendeten Flüssigkeiten (siehe Erkl. 615).

Frage 390. Welche Grösse besitzt die elektromotorische Kraft der bekanntesten galvanischen Elemente?

Erkl. 616. Da die Stromstärke von der elektromotorischen Kraft des Rheomotors und von dem wesentlichen und dem äusseren Widerstand eines Stromkreises abhängig ist, so nimmt dieselbe mit der wachsenden Polarisation, welche der elektromotorischen Kraft des Elements entgegenwirkt, ab (siehe den folgenden Abschnitt). Sie nimmt aber auch ab, wenn sich der Widerstand des Elements vergrössert, oder nimmt zu, wenn dieser Widerstand geringer wird (siehe folgende Erklärung).

Erkl. 617. Betreffs des Widerstands der galvanischen Elemente ist folgendes zu bemerken:

1). Der Widerstand ist sehr verschieden,

a). je nachdem die Elektroden mehr oder weniger von einander entfernt sind,

b). je nach der Konzentration der Flüssigkeiten,

c). je nach der Grösse der Elemente.

2). Der Widerstand verändert sich während des Stromschlusses (bei einigen Elementen wird

Antwort. Die Grösse der elektromotorischen Kraft der bekanntesten galvanischen Elemente ist in nachstehender Tabelle in Volt angegeben (siehe Antwort auf Frage 379).

Zu nachstehender Tabelle ist folgendes zu bemerken:

1). Wird der Stromkreis eines galvanischen Elements geschlossen, so tritt eine Polarisation auf, welche bei den inkonstanten Elementen sehr stark und rasch zunimmt, und zwar um so rascher, je geringer der äussere Widerstand des Stromkreises ist. Infolge dieser Polarisation vermindert sich die Spannungsdifferenz an den Polen des Elements und die elektromotorische Kraft des Elements wird scheinbar geringer (siehe den folgenden Abschnitt).

2). Auch bei den Elementen mit zwei Flüssigkeiten tritt allmählich nach dem Schliessen des Stromkreises eine Polarisation auf; am wenigsten ist dies der Fall bei den Elementen nach *Daniell*, *Grove* und *Bunsen*.

3). Die elektromotorische Kraft einer und derselben Art von Elementen wird oft sehr verschieden angegeben. Diese verschiedenen Angaben können namentlich dadurch begründet sein,

a). dass die bei den einzelnen Exemplaren der untersuchten Elemente verwendeten Metalle nicht chemisch rein waren;

er sehr viel grösser) und zwar infolge der während des Stromschlusses vorgehenden chemischen Veränderungen in den Elementen.

Aus diesen Gründen kann man keine bestimmten Angaben über den Widerstand der Elemente machen.

b). dass Flüssigkeiten von verschiedener Reinheit und Konzentration Verwendung finden;

c). dass die Messungen unmittelbar nach Stromschluss, mit Einschaltung grösseren oder kleineren Widerstands, oder auch einige Zeit nach dem Stromschluss angestellt werden (siehe Erkl. 616).

Element	siehe Antwort auf Frage	Negative Elektrode, positiver Pol (siehe Antwort auf Frage 42)	Flüssigkeiten	Positive Elektrode, negativer Pol (siehe Antwort auf Frage 42)	Elektromotorische Kraft in Volt
einfache Voltasche	45 bis 55	Kupfer	2prozentige Schwefelsäure	Zink	0,92
„ „		„	Kochsalz	„	0,75
Sturgeon	58	„	2prozentige Schwefelsäure	amalg. Zink	1,06
Roberts	59	Eisen	Schwefelsäure	„ „	0,6
Smee	60 und 61	Platin	„	„ „	0,8
Pulvermacher	69	Silber	„	„ „	1,5
„		„	Kalilauge	„ „	2,0
Maiche	74	plat. Kohle	Salmiak	„ „	1,25
Bunsen	75 (Erkl. 129)	Kohle	Chromsäuremischung	„ „	2,1
Grenet	„ „ „	„	„	„ „	2,0
Partz	„ „ „	„	„	„ „	1,5
Delaurier	„ „ „	„	„	„ „	2,2
Leclanché	80	Braunstein	Salmiak	„ „	1,2—0,9
Daniell (Normal-)	90	Kupfer	schwefls.Kupfer, schwefls.Zink	„ „	**1,124**
Daniell		„	„ „ Kochsalz	„ „	1,18
„		„	„ „ Kali	„ „	1,55
Meidinger	96	„	„ „ schwfls.Magnesia	„ „	1,07—0,9
Grove	102	Platin	Salpetersäure, Schwefelsäure	„ „	1,96—1,8
Callan	103	plat. Blei	„ etc. „	„ „	1,96—1,8
Bunsen	104	Kohle	„ „	„ „	1,90—1,8
Schönbein	105	Eisen	„ „	„ „	1,83—1,75
Uelsmann	105	Siliciumeisen	„ „	„ „	1,83—1,75
Bunsen	107	Kohle	Chromsäuremischung (Bunsen, siehe Erkl. 129), Schwefelsäure	„ „	2,03
Thomsen	108	„	Chromsäuremisch., Schwefels.	Kupfer	1,01
Ponci	111	„	Eisenchlorid, Eisenchlorür	Eisen	1,0
Koosen	113	„	Kaliumpermanganat,Schwefels.	amalg. Zink	2,25
Niaudet	114	„	Chlorkalk, Kochsalz	Zink	1,8
Marié Davy	116	„	schwefels. Quecksilber, Wasser	amalg. Zink	1,4
Warren de la Rue und Müller, Pincus, Gaiffe	117, 118, 119	Silber	Chlorsilber, Salmiak	„ „	1,08—0,94
Scrivanoff	120	Kohle	Quelsilberoxydpaste	„ „	1,6
Latimer Clark	121	Quecksilber	schwefels. Quecksilberoxydul, schwefels. Zink	„ „	1,456

7). Ueber die elektromotorische Kraft der Polarisation.

A). Ueber die Messung der elektromotorischen Kraft der Polarisation.

Frage 391. Was versteht man unter der elektromotorischen Kraft der Polarisation?

Antwort. Unter der elektromotorischen Kraft der Polarisation versteht man nach den Antworten auf die Fragen 216—229 eine elektromotorische Kraft, welche beim Durchgang eines elektrischen Stroms durch eine Flüssigkeit auftritt, und welche der elektromotorischen Kraft des Rheomotors entgegenwirkt.

Frage 392. Welche Form nimmt die Ohmsche Gleichung:

$$J = \frac{E}{W}$$

an, wenn das durch dieselbe ausgedrückte Ohmsche Gesetz auf einen Stromkreis angewendet wird, in welchem ein primärer Rheomotor und ein polarisierbares Element enthalten ist?

Erkl. 618. Einige Forscher nehmen an, dass beim Durchgang des elektrischen Stroms durch eine Flüssigkeit ein sog. Uebergangswiderstand auftrete, und dass somit die beim Einschalten einer Flüssigkeit in den Stromkreis eines Rheomotors stattfindende Stromschwächung nicht nur durch den Widerstand w dieser Flüssigkeit (siehe nebenstehende Antwort) und die elektromotorische Kraft $-p$ der Polarisation, sondern auch durch diesen Uebergangswiderstand bedingt sei.

Nimmt man das Vorhandensein dieses Uebergangswiderstands an und bezeichnet man denselben mit u und die bei dieser Annahme vorhandene elektromotorische Kraft der Polarisation mit $-p$, so geht nebenstehende Gleichung a). über in:

$$J = \frac{E - p_1}{W + w + u}$$

Indes lassen sich die mit der Polarisation zusammenhängenden Erscheinungen durch die alleinige Annahme einer elektromotorischen Kraft der Polarisation erklären; auch sind die für das Vorhandensein des Uebergangswiderstands namentlich von *Fechner* und *Poggendorff* angegebenen experimentellen Belege nicht streng beweisend. Das Auftreten dieses Uebergangswiderstands ist daher unwahrscheinlich (siehe Erkl. 619).

Antwort. Wird in den Stromkreis eines primären Rheomotors (siehe Erkl. 329) eine polarisierbare Zelle, z. B. ein Voltameter eingeschaltet (siehe Antwort auf Frage 221 und Erkl. 329), so sind in diesem Stromkreis zwei elektromotorische Kräfte vorhanden, nämlich die elektromotorische Kraft des primären Rheomotors und diejenige des durch dieselbe polarisierten Elements.

Die elektromotorische Kraft eines Stromkreises ist nun nach Antwort auf Frage 322 gleich der Summe der einzelnen in demselben enthaltenen elektromotorischen Kräfte. Da nun die elektromotorische Kraft der Polarisation derjenigen des primären Rheomotors entgegenwirkt, so besitzt erstere der letzteren gegenüber einen negativen Wert.

Bezeichnet

E die elektromotorische Kraft des primären Rheomotors,

$-p$ die elektromotorische Kraft der Polarisation des Voltameters,

w den Widerstand des Voltameters,

W den gesamten übrigen Widerstand dieses Stromkreises,

J die Stromstärke dieses Stromkreises,

so ist nach obigem die elektromotorische Kraft dieses Stromkreises gleich $E + (-p)$ oder gleich $E - p$, und es be-

Erkl. 619. Der in voriger Erklärung erwähnte Uebergangswiderstand darf nicht verwechselt werden mit dem in den Antworten auf die Fragen 214 und 215 definierten, unzweifelhaft bestehenden Widerstand des Uebergangs, welcher durch die elektrolytische Veränderung der vom elektrischen Strom durchflossenen Flüssigkeiten bedingt ist. Ueber den vermeintlichen Uebergangswiderstand beim Uebergang des elektrischen Stroms aus einem Metall in ein anderes Metall siehe Erkl. 323.

Erkl. 620. Einige Forscher nahmen an, dass die heute durch die elektromotorische Kraft der Polarisation allein erklärte Stromschwächung zum Teil durch einen Zersetzungswiderstand bedingt sei, d. h. dass eine bestimmte Stromstärke erforderlich sei, um beim Durchgang durch einen Leiter zweiter Klasse die „molekulare Anziehungskraft" der Atome zu überwinden. Aus Erkl. 493 geht jedoch hervor, dass ein solcher Zersetzungswiderstand nicht vorhanden sein kann.

steht somit nach dem Ohmschen Gesetz die Relation:

$$\text{a)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad J = \frac{E - p}{W + w}$$

(Siehe die Erkl. 618 bis 620.)

Frage 393. Wie kann man die elektromotorische Kraft der Polarisation messen?

Antwort. Die elektromotorische Kraft der Polarisation kann man nach den in den Antworten auf die Fragen 382 bis 388 angegebenen Methoden messen.

Man kann hierbei z. B. verfahren wie folgt:

Man schaltet in den Stromkreis des primären Rheomotors das sekundäre Element, in welchem der primäre Rheomotor die zu bestimmende elektromotorische Kraft $-p$ hervorbringt, und eine Tangentenbussole ein und bestimmt nun nach der Methode von *Wheatstone* (siehe Antwort auf Frage 385) den in voriger Antwort definierten Wert $E - p$; alsdann schaltet man das sekundäre Element aus und bestimmt nun nach derselben Methode die elektromotorische Kraft E des Rheomotors. Subtrahiert man dann den erhaltenen Wert von $E - p$ von dem Wert E, so erhält man den Wert der elektromotorischen Kraft p der Polarisation in der gewählten Einheit (siehe Erkl. 621).

Erkl. 621. Man kann die elektromotorische Kraft der Polarisation nach mehreren Methoden auch in der Weise bestimmen, dass man zuerst durch einen primären Strom die Polarisation des sekundären Elements hervorbringt und alsdann das sekundäre Element mittels einer Wippe (siehe Antwort auf Frage 224) aus dem Stromkreis des primären Rheomotors ausschaltet und durch Umlegen der Wippe einen sekundären Stromkreis bildet, welcher die zu der gewählten Methode erforderlichen Einrichtungen (Galvanometer und Rheostate) in der betreffenden Anordnung enthält.

Bei Anwendung der Wippe wird jedoch die elektromotorische Kraft der Polarisation immer erst einige Zeit nach ihrer Entstehung gemessen; infolgedessen fallen die gemessenen Werte etwas zu klein aus.

B). Ueber das Maximum der Polarisation.

Frage 394. Was versteht man unter dem Maximum der Polarisation?

Antwort. Unter dem Maximum der Polarisation versteht man den

grösstmöglichen Wert der elektromotorischen Kraft der Polarisation, welchen man bei der Ladung eines sekundären Elements von einer bestimmten Zusammensetzung erhalten kann (s. Erkl. 622). Dieses Maximum kann nur durch Anwendung einer primären Säule erhalten werden, deren elektromotorische Kraft grösser ist als dieses Maximum. Wird zur Ladung des sekundären Elements eine primäre Säule angewendet, deren elektromotorische Kraft kleiner ist als das Maximum der Polarisation der sekundären Säule, so ist die elektromotorische Gegenkraft p der sekundären stets gleich der elektromotorischen Kraft E der primären Säule. Da nach Antwort auf Frage 392 für die Stromstärke J eines solchen Stromkreises die Relation:

$$J = \frac{E - p}{W + w}$$

besteht, so ist in einem solchen Fall, da:

$$E - p = 0$$

auch:

$$J = 0$$

d. h. also: Wenn in dem Stromkreis eines primären Rheomotors ein sekundäres Element sich befindet, so kann nur dann ein elektrischer Strom diesen Stromkreis durchfliessen, wenn die elektromotorische Kraft des primären Rheomotors grösser ist als das Maximum der Polarisation des sekundären Elements (siehe Erkl. 623).

Erkl. 622. Maximum (latein., Superlativ von magnus = gross) heisst das Grösste, die grösste Menge, die höchste Zahl.

Erkl. 623. Aus nebenstehender Antwort geht hervor, dass man zur Elektrolyse, zur galvanischen Wasserzersetzung, zur Bestimmung der Stromstärke mittels der Voltameter eine je nach dem Maximum der Polarisation entsprechend starke Säule anwenden muss, damit der betreffende Stromkreis von einem elektrischen Strom durchflossen wird (siehe Erkl. 629).

Frage 395. Welche Sätze wurden in bezug auf die elektromotorische Kraft der Polarisation aufgestellt?

Antwort. In bezug auf die elektromotorische Kraft der Polarisation wurden folgende Sätze aufgestellt:

1). Die elektromotorische Kraft der Polarisation der einen Elektrode einer polarisierbaren Zelle ist unabhängig von der Natur der andern (siehe Erkl. 624);

2). ihre Grösse ist verschieden je nach der Natur der betreffenden Elektrode; und

3). die gesamte elektromotorische Kraft eines sekundären Elements ist gleich

Erkl. 624. Aus nebenstehender Antwort geht hervor, dass das Maximum der Polarisation einer Elektrode, z. B. einer Platinplatte, stets dasselbe ist, einerlei aus welchem Material die andere Elektrode besteht, welche ihr in dem Polarisations-Element gegenübersteht. Dieses Maximum ist jedoch verschieden gross, je nachdem die betreffende Elektrode mit dem positiven oder mit dem negativen Pol des primären Rheomotors verbunden ist (s. Erkl. 627).

der Summe der einzelnen elektromotorischen Kräfte der Elektroden.

Frage 396. Welches ist das Maximum der Polarisation blanker Platinplatten in verdünnter Schwefelsäure?

Antwort. Das Maximum der Polarisation blanker Platinplatten (siehe Erkl. 625) in verdünnter Schwefelsäure ist von mehreren Forschern bestimmt worden.

Unter andern fanden dasselbe (die elektromotorische Kraft eines Daniell-Elements als Einheit genommen):

1). *Svanberg* zu 2,31 Daniell.
2). *Poggendorff* „ 2,33 Daniell.
3). *Wheatstone* „ 2,33 Daniell.
4). *Buff* „ 2,56 Daniell.

(Siehe die Erkl. 625 bis 629.)

Erkl. 625. Werden sehr dünne Platindrähte in verdünnter Schwefelsäure polarisiert, so ist das Maximum der Polarisation derselben nach *Buff* gleich 3,31 Daniell (siehe Erkl. 626).

Erkl. 626. Aus voriger Erklärung geht hervor, dass die Polarisation bei kleineren Oberflächen der polarisierten Elektroden grösser ist als bei grösseren Oberflächen. Da die Polarisation durch Ablagerung elektromotorisch wirksamer Stoffe an den Elektroden bedingt ist, und diese Stoffe unter sonst gleichen Umständen an kleineren Elektrodenoberflächen sich in grösserer Dichtigkeit ablagern als an grösseren Oberflächen, so ist hiernach die Polarisation von der Dichtigkeit der an den Elektroden abgelagerten Stoffe abhängig.

Erkl. 627. Das Maximum der Polarisation der positiven (mit Sauerstoff beladenen, d. i. durch den abgeschiedenen Sauerstoff polarisierten) Platinelektrode beträgt

nach *Svanberg* 1,15 Daniell.
„ *Poggendorff* 1,16 Daniell.

Das Maximum der Polarisation der negativen (mit Wasserstoff beladenen, d. i. durch den abgeschiedenen Wasserstoff polarisierten) Platinelektrode beträgt

nach *Svanberg* 1,16 Daniell.
„ *Poggendorff* 1,16 Daniell.

Erkl. 628. Die Polarisierbarkeit der Metalle ist verschieden. In verdünnter Schwefelsäure ist die Reihenfolge der Polarisierbarkeit in absteigender Ordnung: Platin, platiniertes Platin, Silber, Kupfer, Messing, Eisen, Zinn, Zink.

Erkl. 629. Aus nebenstehender Antwort geht hervor, dass man zur Messung der Stromstärke mittels eines Voltameters mindestens 3 Daniell- oder 2 Bunsen-Elemente anwenden muss.

8). Ueber die Gesetze der Wärmewirkungen des elektrischen Stroms.

A). Ueber das Joulesche Gesetz.

Frage 397. Welche Beziehungen bestehen zwischen der in einem geschlossenen Stromkreis durch den elektrischen Strom erzeugten Wärmemenge, der

Antwort. Zwischen der in einem geschlossenen Stromkreis durch den elektrischen Strom erzeugten Wärme-

Stromstärke und dem Widerstand dieses Stromkreises, und wie heisst das Gesetz, durch welches diese Beziehungen ausgedrückt werden?

Erkl. 630. Mit dem Ausdruck Wärmemenge bezeichnet man die relative Grösse einer Wärmewirkung. Dabei hat man sich die Wärme nicht als einen Stoff vorzustellen, sondern als ein Agens (siehe Erkl. 631).

Erkl. 631. Nimmt man die Wärmemenge, durch welche ein Kilogramm Wasser von 0° Celsius auf 1° Celsius erwärmt werden kann, als Einheit der Wärmemenge, oder wie man auch sagt, als Wärmeeinheit an, so braucht man, um 2, bezw. 3, bezw. n Kilogramm Wasser von 0° auf 1° Celsius zu erwärmen, 2, bezw. 3, bezw. n Wärmemengen oder Wärmeeinheiten (siehe Erkl. 632).

Erkl. 632. Die gebräuchlichsten Wärmeeinheiten sind:

1). Die Wärmemenge, welche 1 Kilogramm Wasser um 1° Celsius erwärmt, oder auch der hundertste Teil der Wärmemenge, welche 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 100° Celsius erwärmt. Diese Wärmeeinheit nennt man die (grosse) Kalorie oder die Kilogrammkalorie.

2). Die Wärmemenge, welche 1 Gramm Wasser um 1° Celsius erwärmt, oder der hundertste Teil der Wärmemenge, welche 1 Gramm Wasser von 0° auf 100° Celsius erwärmt. Diese Wärmeeinheit nennt man die (kleine) Kalorie oder die Grammkalorie (s. Erkl. 633).

Erkl. 633. In der Elektricitätslehre kann man als Einheit der Wärmemenge die Wärmemenge wählen, welche in einem Stromkreis in der Zeiteinheit erzeugt wird, dessen elektromotorische Kraft gleich der Einheit der elektromotorischen Kraft, und dessen Widerstand gleich der Einheit des Widerstands ist (siehe Erkl. 634).

menge (siehe Erkl. 630), der Stromstärke und dem Widerstand des Stromkreises bestehen folgende Beziehungen:

1). Die in gleichen Zeiten entwickelten Wärmemengen in zwei Stromkreisen von gleicher Stromstärke sind den in diesen Stromkreisen vorhandenen Widerständen proportional;

2). die in gleichen Zeiten entwickelten Wärmemengen in zwei Stromkreisen von gleichem Widerstand sind dem Quadrat der Stromstärken proportional;

3). die in einem und demselben Stromkreis durch den elektrischen Strom entwickelte Wärmemenge ist proportional der Zeitdauer des elektrischen Stroms.

Diese Sätze nennt man nach dem Entdecker derselben das Joulesche Gesetz (siehe die Erkl. 636 und 637).

Bezeichnet man

die Stromstärke eines Stromkreises mit J,
den Widerstand desselben mit W,
die in demselben durch den Strom in einer bestimmten Zeit erzeugte Wärmemenge mit Q,

und bezeichnet man

die Stromstärke eines zweiten Stromkreises von gleichem Widerstand mit J_1,
die in demselben in der gleichen Zeit erzeugte Wärmemenge mit Q_1,

so besteht nach obigem Satz 2). die Proportion:

a). . . . $Q : Q_1 = J^2 : J_1^2$

Bezeichnet man ferner

mit W_1 den Widerstand eines dritten Stromkreises, dessen Stromstärke gleich dem des zweiten Stromkreises, also gleich J_1 ist, und
mit q die in diesem dritten Stromkreis in der gleichen Zeit erzeugte Wärmemenge,

so besteht nach obigem Satz 1). die Proportion:

b). . . . $Q_1 : q = W : W_1$

Durch Multiplikation der Proportionen a). und b). erhält man:

$$Q Q_1 : Q_1 q = J^2 W : J_1^2 W_1$$

oder:

c). . . $Q : q = J^2 W : J_1^2 W_1$

Erkl. 634. Wählt man als Einheit der elektromotorischen Kraft das Volt, als Einheit des Widerstands das Ohm, als Einheit der Zeit die Sekunde, so besteht bei der elektromotorischen Kraft von 1 Volt in einem Stromkreis von 1 Ohm Widerstand eine Stromstärke von 1 Ampère.

Bezeichnet man
mit J die Stromstärke eines Stromkreises in Ampère,
mit W den Widerstand desselben in Ohm,
mit Q die in diesem Stromkreis erzeugte Wärmemenge in Grammkalorien,
mit t die Zeitdauer des Stroms in Sekunden,

so ist:

a). $Q = 0{,}24\, J^2\, W t$

Die Zahl 0,24 gibt für die hier gewählten Einheiten den Wert der in nebenstehender Antwort erwähnten und definierten Wärmeeinheit q an.

Ausführliches darüber findet man in Kleyers Encyklopädie in den Lehrbüchern der Wärme und der in der Mechanik und Elektrotechnik gebräuchlichen Masse.

Erkl. 635. Ausführliches über die Kalorimetrie, d. i. die Messung der Wärmemenge, findet man in Kleyers Encyklopädie in dem Lehrbuch der Wärme.

Diese Gleichung in Worte gefasst, heisst:

Die durch den elektrischen Strom in zwei Stromkreisen in der gleichen Zeit erzeugten Wärmemengen verhalten sich wie die Produkte aus dem Quadrat der Stromstärke und dem Widerstand dieser Stromkreise.

Nimmt man nun die Stromstärke J_1 und den Widerstand W_1, welche nach vorstehender Gleichung c). der Wärmemenge q entsprechen, als Einheiten der Stromstärke und des Widerstands an, so ergibt sich aus Gleichung c). die Relation:

d). . . . $Q = q\, J^2\, W$ (siehe Erkl. 634).

Bezeichnet man ferner
mit t die Zeit, während welcher in einem Stromkreis die Wärmemenge Q_t entwickelt wurde, und
mit t_1 die Zeit, während welcher die Wärmemenge Q_{t_1} in demselben Stromkreis entwickelt wurde,

so besteht nach obigem Satz 3). die Proportion:

e). . . . $Q_t : Q_{t_1} = t : t_1$

Frage 398. Welche Beziehungen bestehen nach dem in voriger Antwort definierten Jouleschen Gesetz zwischen der in einem einzelnen Teil eines Stromkreises entwickelten Wärmemenge und dem Widerstand des betreffenden Teils und der in demselben herrschenden Stromstärke?

Erkl. 636. Das in nebenstehender und in voriger Antwort definierte Gesetz wurde von *J. P. Joule* im Jahr 1841 entdeckt und von *Lenz* zuerst experimentell geprüft.

Erkl. 637. Das in nebenstehender und in voriger Antwort definierte Joulesche Gesetz gilt nur für den Fall, dass der betreffende elektrische Strom einzig und allein Wärmewirkung erzeugt. Finden dagegen auch andere Stromwirkungen statt, so vermindert sich die zugleich entwickelte Wärmemenge entsprechend der für diese andern Wirkungen verbrauchten Kraft.

Antwort. Die in voriger Antwort definierten Beziehungen, welche das Joulesche Gesetz darstellen, finden nicht nur Anwendung auf ganze Stromkreise, sondern auch auf jeden einzelnen Teil eines einfachen oder verzweigten Stromkreises.

In jedem einzelnen Teil eines Stromkreises ist daher die entwickelte Wärmemenge gleich dem Produkt aus dem Widerstand dieses Teils, dem Quadrat der in demselben herrschenden Stromstärke und der Zeitdauer der Wirkung des elektrischen Stroms.

Bezeichnet man
die Widerstände der einen unverzweigten Stromkreis bildenden einzelnen Leiter mit $w_1\, w_2\, w_3 \ldots$,
die in diesen Leitern in der gleichen Zeit entwickelten Wärmemengen mit $Q_1\, Q_2\, Q_3 \ldots$,
die Stromstärke in diesem Stromkreis mit J,

so besteht die Relation:

$Q_1 : Q_2 : Q_3 : \ldots = w_1 J^2 : w_2 J^2 : w_3 J^2 : \ldots$

oder:

a). $Q_1 : Q_2 : Q_3 : \ldots = w_1 : w_2 : w_3 : \ldots$

Gleichung a). in Worte gefasst, heisst:

Im unverzweigten Stromkreis sind die in den einzelnen Teilen desselben entwickelten Wärmemengen den Widerständen dieser Teile proportional.

Gehören die Leiter einem verzweigten Stromkreis oder verschiedenen Stromkreisen an, und bezeichnet man mit $J_1\, J_2\, J_3 \ldots$ die Stromstärken, welche in den Leitern von Widerstand w_1 bezw. w_2 bezw. $w_3 \ldots$ herrschen, so besteht die Relation:

b). . . $Q_1 : Q_2 : Q_3 : \ldots = w_1 J_1^2 : w_2 J_2^2 : w_3 J_3^2 : \ldots$

entsprechend der in voriger Antwort abgeleiteten Gleichung d). und dem oben definierten Gesetz.

Frage 399. Welche Folgerungen ergeben sich aus dem Jouleschen und dem Ohmschen Gesetz?

Erkl. 638. Die verschiedenen Relationen, welche aus dem Jouleschen Gesetz für die in der Zeiteinheit in einem Stromkreis erzeugte Wärmemenge Q sich ergeben, sind nach nebenstehender Antwort die folgenden:

a). $Q = q J^2 W$

b). $Q = q J E$

c). $Q = q \frac{E^2}{W}$

Berücksichtigt man (siehe Antwort auf Frage 338), dass der Gesamtwiderstand W eines Stromkreises aus dem wesentlichen Widerstand w und dem äusseren Widerstand r besteht, dass somit $W = w + r$ ist, so kann man die durch die obigen Gleichungen a). und b). gegebenen Relationen auch durch die Gleichungen:

a_1). $Q = q J^2 (w + r)$

c_1). $Q = \frac{q E^2}{w + r}$

ausdrücken.

Wird das Joulesche Gesetz auf einen einzelnen Teil eines Stromkreises angewendet, und bezeichnet man

mit s die Spannungsdifferenz an den Enden dieses Teils,

mit Q_1 die in diesem Teil des Stromkreises erzeugte Wärmemenge, und

mit r den Widerstand dieses Teils,

Antwort. Nach Antwort auf Frage 397 besteht für die in einem Stromkreis durch den elektrischen Strom entwickelte Wärmemenge Q_t die Joulesche Gleichung:

a). $Q_t = q J^2 W t$

und nach Antwort auf Frage 337 besteht für die Stromstärke J dieses selben Stromkreises die Ohmsche Gleichung:

b). $J = \frac{E}{W}$

Setzt man den sich aus Gleichung b). ergebenden Wert für $J W$:

c). $J W = E$

in Gleichung a). ein, so erhält man:

d). $Q_t = q J . E t$

und für die in der Zeit $t = 1$ entwickelte Wärmemenge Q:

e). $Q = q J . E$

Setzt man ferner den Wert von J aus Gleichung b). in Gleichung a). ein, so erhält man die weitere Relation:

f). $Q_t = \frac{q E^2 t}{W}$

so gehen die Gleichungen b). und c). über in:

d). $Q_t = q\,J\,s$

e). $Q_t = q\,\frac{s^2}{r}$

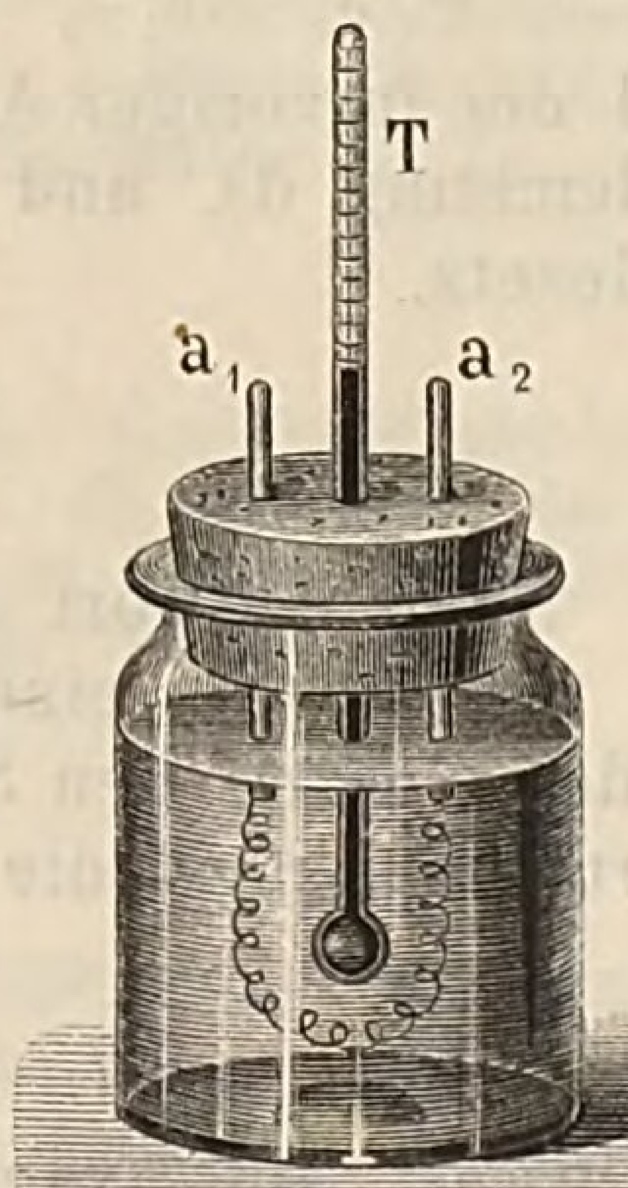
[Siehe Antwort auf Frage 320, Erkl. 503 und Gleichung f). in Antwort auf Frage 348.]

und für die in der Zeit $t = 1$ entwickelte Wärmemenge Q die Relation:

g). $Q = \frac{q\,E^2}{W}$ (siehe Erkl. 638).

Frage 400. Wie kann man die Wärmemenge, welche in einem Stromkreis erzeugt wird, aus der Erwärmung eines einzelnen Teils dieses Stromkreises berechnen?

Figur 224.



Erkl. 639. Zur Messung von Wärmemengen bedient man sich eines Kalorimeters (Wärmemesser, von calor [latein.] = die Wärme und μετρόν [griech.] = das Mass). Um die in einem Draht von bekanntem Widerstand durch einen elektrischen Strom erzeugte Wärmemenge zu messen, bedient man sich besonderer Kalorimeter, von welchen der in Figur 224 dargestellte der einfachste ist (bezügl. dessen Einrichtung siehe Antwort auf Frage 247).

Ausführliches über die Kalorimeter und über die Messung und Berechnung von Wärmemengen findet man in Kleyers Encyklopädie in dem Lehrbuch der Wärme.

Antwort. Die Gesamtwärme, welche in einem Stromkreis durch den elektrischen Strom erzeugt wird, verteilt sich in diesem Stromkreis nach Massgabe des Widerstands jedes einzelnen Teils desselben. Da es nun sehr schwierig ist, die innerhalb des Rheomotors erzeugte Wärmemenge direkt zu bestimmen, so bestimmt man die in einem einzelnen Teil des betreffenden Stromkreises erzeugte Wärmemenge und berechnet daraus die in dem ganzen Stromkreis erzeugte Gesamtwärme. Man verfährt hierbei wie folgt:

Angenommen, man habe die in einem in den betreffenden Stromkreis eingeschalteten Draht von genau bekanntem Widerstand in einer gewissen Zeit erzeugte Wärmemenge bestimmt (siehe Erkl. 639), und man bezeichnet

mit r den bekannten Widerstand des zur Bestimmung der Wärmemenge verwendeten Drahts,

mit Q_t die in dem Draht während der Dauer der Stromwirkung erzeugte Wärmemenge,

mit W den bekannten gesamten Widerstand des Stromkreises und des eingeschalteten Drahtstücks,

mit J die während der Messung der in dem Drahtstück erzeugten Wärmemenge in diesem Stromkreis herrschende Stromstärke,

mit E die elektromotorische Kraft dieses Stromkreises,

mit Q die zu berechnende Wärmemenge, welche in dem gesamten Stromkreis während der Dauer der obenerwähnten Messung erzeugt wird,

so hat man nach Gleichung a). in Antwort auf Frage 398 die Relation:

a). $Q : Q_t = W : r$

somit zur Berechnung der Gesamtwärme Q aus der gemessenen Wärmemenge Q_t und den bekannten Widerständen r und W die Gleichung:

b). $Q = \frac{Q_\iota . W}{r}$

Nach dem Ohmschen Gesetz ist nun:

$$J = \frac{E}{W}$$

oder:

c). $W = \frac{E}{J}$

Setzt man den Wert für W aus Gleichung c). in Gleichung b). ein, so erhält man:

d). $Q = \frac{Q_\iota E}{r J}$

mittels welcher Gleichung man die Gesamtwärme in dem Stromkreis aus der in dem erwähnten Leiter erzeugten Wärmemenge Q_ι, dem Widerstand r desselben, der elektromotorischen Kraft E und der Stromstärke J berechnen kann.

Frage 401. Wie kann man die in dem äusseren Teil eines Stromkreises durch den elektrischen Strom erzeugte Wärmemenge aus der elektromotorischen Kraft des Rheomotors und dem wesentlichen und äusseren Widerstand des Stromkreises bestimmen?

Erkl. 640. Für die innerhalb des Rheomotors galvanisch erzeugte Wärmemenge Q_i besteht, wenn man die in nebenstehender Antwort gewählten Bezeichnungen q, w, r und J beibehält, nach dem Jouleschen Gesetz die Relation:

a). $Q_i = q\, w\, J^2$

Da nun nach Gleichung b). in Antwort auf Frage 338:

b). $J = \frac{E}{w + r}$

ist, so hat man für Q_i, wenn man den Wert für J aus Gleichung b). in Gleichung a). einsetzt:

c). $Q_i = q\, w \cdot \frac{E^2}{(w + r)^2}$

(siehe Erkl. 641).

Erkl. 641. Die Gesamtwärmemenge Q, welche in dem in nebenstehender Antwort und voriger Erklärung erwähnten Stromkreis galvanisch erzeugt wird, ist gleich der Summe der innerhalb des Rheomotors erzeugten Wärmemenge Q_i und der im äusseren Teil des Stromkreises erzeugten Wärmemenge Q_a, also ist:

a). $Q = Q_i + Q_a$

Antwort. Die in dem äusseren Teil eines Stromkreises durch den elektrischen Strom erzeugte Wärmemenge kann man aus der elektromotorischen Kraft des Rheomotors und dem wesentlichen und äusseren Widerstand des Stromkreises bestimmen wie folgt:

Bezeichnet man

mit Q_a die in dem äusseren Teil des Stromkreises erzeugte Wärmemenge,

mit r den äusseren Widerstand des Stromkreises,

mit w den wesentlichen Widerstand des Stromkreises,

mit E die elektromotorische Kraft des Rheomotors,

mit J die Stromstärke im Stromkreis,

so hat man nach Gleichung d). in Antwort auf Frage 397 und nach Antwort auf Frage 398 für die in dem äusseren Teil des Stromkreises erzeugte Wärmemenge die Relation:

a). $Q_a = q\, r\, J^2$

und nach Gleichung b). in Antwort auf Frage 338 für die Stromstärke in diesem Stromkreis die Relation:

b). $J = \frac{E}{w + r}$

Setzt man den Wert für J aus Glei-

Setzt man die Werte für Q_i und Q_a aus Gleichung a). in voriger Erklärung und aus Gleichung c). in nebenstehender Antwort in obige Gleichung a). ein, so ergibt sich:

$$Q = \frac{q\,w\,E^2}{(w+r)^2} + \frac{q\,r\,E^2}{(w+r)^2}$$

oder:

$$Q = \frac{q\,E^2\,(w+r)}{(w+r)^2}$$

mithin:

b). $Q = \frac{q\,E^2}{w+r}$

übereinstimmend mit Gleichung c_1). in Erkl. 638.

chung b). in Gleichung a). ein, so erhält man:

c). . . . $Q_a = q\,r \cdot \frac{E^2}{(w+r)^2}$

mittels welcher Gleichung man die in dem äusseren Teil des Stromkreises erzeugte Wärmemenge aus der elektromotorischen Kraft des Rheomotors und dem wesentlichen und äusseren Widerstand des Stromkreises bestimmen kann (siehe Erkl. 640).

Frage 402. Welche Beziehung besteht zwischen dem wesentlichen und dem äusseren Widerstand eines Stromkreises für den Fall, dass die in dem äusseren Teil desselben entwickelte Wärmemenge ein Maximum ist?

Erkl. 642. Der in nebenstehender Antwort definierte Satz: „Die durch einen elektrischen Strom im äusseren Teil des Stromkreises entwickelte Wärmemenge ist ein Maximum, wenn der äussere Widerstand des betreffenden Stromkreises gleich dem wesentlichen Widerstand ist,“ kann sowohl experimentell (siehe Erkl. 635) als auch mit höherer Rechnung bewiesen werden. Die Richtigkeit desselben kann man prüfen wie folgt:

Angenommen, es sei ein Rheomotor gegeben, dessen Widerstand w ist, und dieser Rheomotor sei durch einen Draht geschlossen, dessen Widerstand ebenfalls gleich w ist, so besteht nach nebenstehender Antwort für die in diesem Draht durch den elektrischen Strom entwickelte Wärmemenge Q_a die Relation:

a). $Q_a = q\,E^2 \cdot \frac{w}{(w+w)^2}$

oder:

b). $Q_a = q\,E^2 \cdot \frac{1}{4\,w}$

Wird nun der Draht vom Widerstand w durch einen Draht ersetzt, dessen Widerstand gleich $a\,w$, also grösser als w ist, so hat man, wenn man mit Q_1 die nun in diesem zweiten Draht galvanisch erzeugte Wärmemenge bezeichnet, für den Stromkreis nunmehr die Relation:

$$Q_1 = q\,E^2 \cdot \frac{a\,w}{(w+a\,w)^2}$$

oder:

c). . . . $Q_1 = q\,E^2 \cdot \frac{a}{w\,(1+a)^2}$

Wird dieser zweite Draht durch einen dritten ersetzt, dessen Widerstand gleich $\frac{w}{a}$, also kleiner als w ist, so hat man, wenn man mit Q_2 die in diesem dritten Draht galvanisch erzeugte Wärmemenge bezeichnet, die Relation

Antwort. Soll in dem Stromkreis eines Rheomotors von gegebener elektromotorischer Kraft E und gegebenem Widerstand w die in dem äusseren Teil desselben entwickelte Wärmemenge ein Maximum sein (siehe Erkl. 622), so muss der wesentliche Widerstand des Stromkreises gleich dem äusseren Widerstand, also in der in voriger Antwort abgeleiteten Gleichung c). $r = w$, also:

$$Q_a = \frac{q\,w\,E^2}{(w+w)^2}$$

oder:

a). . . . $Q_a = \frac{q\,E^2}{4\,w}$ sein (s. Erkl. 642).

Diese Gleichung a). in Worte gefasst, heisst:

Soll mittels eines gegebenen Rheomotors, dessen wesentlicher Widerstand gleich w ist, in dessen äusserem Stromkreis (z. B. in dem Schliessungsdraht desselben) eine möglichst grosse Wärmemenge erzeugt werden, so muss der Schliessungsdraht so gewählt werden, dass sein Widerstand r gleich dem gegebenen Widerstand w des Rheomotors ist (siehe Erkl. 642).

$$Q_2 = q\,E^2 \cdot \frac{\frac{w}{a}}{\left(w + \frac{w}{a}\right)^2}$$

oder:

$$Q_2 = q\,E^2 \cdot \frac{w}{a\left(\frac{a\,w + w}{a}\right)^2}$$

oder:

$$Q_2 = q\,E^2 \cdot \frac{a\,w}{w^2\,(a+1)^2}$$

mithin:

d). . . $Q_2 = q\,E^2 \cdot \frac{a}{w\,(1+a)^2}$

übereinstimmend mit Gleichung c).

Setzt man nun in Gleichung d). $a = 1$, so erhält man den durch Gleichung b). ausgedrückten Wert:

e). $Q_a = q\,E^2 \cdot \frac{1}{4\,w}$

Setzt man dagegen a gleich irgend einem ganzen oder gebrochenen Zahlenwert, welcher grösser oder kleiner als 1 ist, so erhält man einen kleineren Wert für die in dem Draht erzeugte Wärmemenge.

Setzt man z. B. $a = 2$, so erhält man:

f). $Q_1 = q\,E^2 \cdot \frac{2}{9\,w}$

Setzt man dagegen $a = {}^1/_2$, so erhält man wiederum:

g). $Q_2 = q\,E^2 \cdot \frac{2}{9\,w}$.

Aus den Gleichungen e)., f). und g). ergibt sich somit die Proportion:

$$Q : Q_1 : Q_2 = \frac{1}{4} : \frac{2}{9} : \frac{2}{9}$$

oder:

$$Q : Q_1 : Q_2 = \frac{q}{36} : \frac{8}{36} : \frac{8}{36}$$

Hieraus geht hervor, dass die Wärmemenge in dem äusseren Teil des Stromkreises ein Maximum erreicht, wenn der äussere Widerstand des Stromkreises gleich dem gegebenen wesentlichen Widerstand desselben ist, dass somit diese Wärmemenge kleiner ist, wenn der äussere Widerstand grösser oder kleiner als der gegebene wesentliche Widerstand des Stromkreises ist.

Frage 403. Welche Beziehungen bestehen zwischen dem Maximum der im äusseren Teil eines Stromkreises erzeugten Wärmemenge und der Gesamtwärmemenge, welche im ganzen Stromkreis erzeugt wird, und wie kann man diese Beziehungen ableiten?

Antwort. Für den in voriger Antwort erläuterten und durch die Gleichung:

a). $Q_a = \frac{q\,E^2}{4\,w}$

ausgedrückten Fall besteht für die Gesamtwärmemenge Q, welche im ganzen Stromkreis erzeugt wird, nach Gleichung b). in Erkl. 641, da $w = r$, die Relation:

Erkl. 643. Wählt man den äusseren Widerstand eines Stromkreises kleiner als den gegebenen wesentlichen Widerstand, so ist zwar die Stromstärke grösser als wenn der äussere Widerstand gleich dem wesentlichen ist. Somit ist auch die Gesamtwärmemenge grösser; allein die innerhalb des Rheomotors erzeugte Wärmemenge ist dann nach nebenstehender Antwort und den vorigen Erklärungen grösser als die im äusseren Teil des Stromkreises erzeugte Wärmemenge. Wählt man hingegen den äusseren Widerstand grösser als den wesentlichen, so ist die im äusseren Teil des Stromkreises erzeugte Wärmemenge grösser als die innerhalb des Rheomotors erzeugte; allein da die Stromstärke infolge des grösseren Widerstands kleiner wird, so ist nun auch die Gesamtwärmemenge kleiner als in dem nebenstehend erläuterten Fall.

Erkl. 644. In nebenstehender Antwort ist der Fall behandelt, dass ein Rheomotor (galvanisches Element oder Säule) mit bestimmter elektromotorischer Kraft (mit bestimmtem Widerstand) gegeben ist, und hiernach wurde der äussere Widerstand für das Maximum der Wärmeerzeugung abgeleitet.

Ist dagegen ein äusserer Stromkreis (z. B. ein Draht) von bestimmtem Widerstand und eine bestimmte Anzahl von Elementen gegeben, so erhält man das Maximum der Wärmeerzeugung, wenn man die gegebenen Elemente so verbindet, dass ihr wesentlicher Widerstand möglichst annähernd gleich dem gegebenen äusseren Widerstand ist.

b). $Q = \frac{qE^2}{2w}$

und für die innerhalb des Rheomotors erzeugte Wärmemenge Q_i nach Gleichung c). in Erkl. 640 die Relation:

c). $Q_i = \frac{qE^2}{4w}$

Da nun:

$$Q_i + Q_a = Q$$

[siehe Gleichung a). in Erkl. 641]

so ist nach obigen Gleichungen a). und c).:

$$Q = \frac{qE^2}{4w} + \frac{qE^2}{4w}$$

oder:

$$Q = \frac{2qE^2}{4w}$$

d. i.:

$$Q = \frac{qE^2}{2w}$$

übereinstimmend mit Gleichung b).

Es ist somit das Maximum der äusseren Wärmemenge Q_a gleich der inneren Wärmemenge Q_i, d. h.:

Das Maximum der Wärmemenge, welche im äusseren Teil dieses Stromkreises galvanisch erzeugt werden kann, ist gleich der Hälfte der in dem Stromkreis erzeugten Gesamtwärmemenge Q.

B). Ueber die Gesetze des galvanischen Glühens von Metalldrähten.

Frage 404. Welche Sätze können theoretisch für die Erwärmung von Metalldrähten durch den elektrischen Strom abgeleitet werden?

Erkl. 645. Unter dem Wärmestrahlungsvermögen oder Emissionsvermögen (vom latein. emissio = die Aussendung, Ausstrahlung) versteht man die Fähigkeit der Körper, Wärme durch Strahlung abzugeben. Die Grösse dieser Fähigkeit ist von der Natur der Körper, namentlich aber und zwar in erster Linie von der Beschaffenheit der Oberfläche der Körper abhängig. Setzt man das Wärmestrahlungsvermögen des Russes = 100, so ist nach *Leslie* und nach *Melloni* dasjenige von

rauhem Blei	=	45
Quecksilber	=	20
blankem Blei	=	19

Antwort. Für die Erwärmung von Metalldrähten durch den elektrischen Strom sind mehrere Sätze aufgestellt worden, welche man ableiten kann wie folgt:

Wird ein Draht durch einen elektrischen Strom erwärmt, so kann diese Erwärmung so weit steigen, bis der Draht glüht und schliesslich abschmilzt, oder, wenn hierzu für den betreffenden Draht die Stromstärke nicht ausreicht, bis die Wärmemenge, welche der Draht durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung an die Umgebung abgibt, gleich der durch den elektrischen Strom in dem Draht in der gleichen Zeit erzeugten Wärmemenge ist.

poliertem Blei	=	15
Zinn	=	12
Gold	=	12
Silber	=	12
Kupfer	=	12

Ausführliches darüber findet man in Kleyers Encyklopädie in dem Lehrbuch der Wärme.

Erkl. 646. Betrachtet man den nebenstehend erwähnten Draht als einen Kreiscylinder, dessen Höhe die Länge l, dessen Durchmesser der Durchmesser des Querschnitts dieses Drahts ist, und bezeichnet man mit M die Mantelfläche dieses Cylinders, mit π die irrationale Zahl 3,1416, so ist:

$$M = d\pi l$$

Erkl. 647. Die in nebenstehender Antwort aufgestellte Gleichung b). ist annäherungsweise gültig, da die in der Zeiteinheit von einem erwärmten Körper ausgestrahlte Wärmemenge V annähernd proportional ist der Oberfläche $d\pi l$ dieses Körpers (siehe vorige Erkl.), ferner dem Wärmestrahlungsvermögen f (siehe Erkl. 645), ferner der Temperaturdifferenz t. k bedeutet in dieser Gleichung eine Konstante.

Erkl. 648. Bezeichnet man den Durchmesser eines Kreises mit d, den Flächeninhalt desselben mit F, die irrationale Zahl 3,1416 mit π, so ist:

a). $F = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi$ Flächeneinheiten

oder:

b). $F = \frac{d^2}{4}\pi$ Flächeneinheiten

(siehe auch Erkl. 575).

In obiger Gleichung ist zur Bezeichnung des Flächeninhalts der Buchstabe q, welcher in Erkl. 575 gewählt worden, durch F ersetzt, um einer Verwechslung mit der Konstanten q der Wärmeeinheit in nebenstehender Antwort zu vermeiden.

Erkl 649. In nebenstehender Gleichung f). ist $\frac{4q}{k\pi^2}$ ein konstanter Zahlenwert. Bezeichnet man denselben durch K, so kann man diese Gleichung f). auch schreiben:

a). $t = K \cdot \frac{sJ^2}{fd^3}$

Erkl. 650. Nach den Erkl. 277 und 571 nimmt der Widerstand der Metalle bei der Temperaturerhöhung ab. Die in Erkl. 571 angegebenen Temperaturkoefficienten gelten nur für mittlere Temperaturgrade. Werden

Bezeichnet man
mit V die Wärmemenge, welche der erwärmte Draht in der Zeiteinheit ausstrahlt,
mit l die Länge dieses Drahts,
mit d den Durchmesser desselben,
mit f das Wärmestrahlungsvermögen desselben (siehe Erkl. 645),
mit t die Differenz zwischen der Temperatur des erwärmten Drahts und der Temperatur der (kälteren) Umgebung,
mit Q die durch den elektrischen Strom in dem erwärmten Draht in der Zeiteinheit erzeugte Wärmemenge,
mit r den Widerstand des Drahts,
mit J die Stromstärke in dem Stromkreis, in welchem der Draht eingeschaltet ist,
mit q die den gewählten Einheiten der Stromstärke und des Widerstands entsprechende Wärmemenge (siehe Antwort auf Frage 397 und Erkl. 634),

so hat man nach den Antworten auf die Fragen 397 und 398 für die in dem erwärmten Draht durch den elektrischen Strom erzeugte Wärmemenge Q die Relation:

a). $Q = qrJ^2$

und für die von dem Draht ausgestrahlte Wärmemenge V die Relation:

b). $V = k(d\pi l)ft$

(siehe die Erkl. 646 und 647).

Die Erwärmung des Drahts nimmt nun, wie oben erwähnt, vorausgesetzt, dass die Stromstärke hinreichend ist, so lange zu, bis die von dem Draht ausgestrahlte Wärmemenge V der in der gleichen Zeit durch den elektrischen Strom in dem Draht erzeugten Wärmemenge Q gleich, bis sonach:

c). . . . $qrJ^2 = kd\pi lft$

ist. Alsdann bleibt die Temperatur t des Drahts konstant, und man erhält für diese konstante Temperatur t aus Gleichung c). die Relation:

d). . . . $t = \frac{qrJ^2}{kd\pi lf}$

Bezeichnet man nun ferner
mit s den spezifischen Leitungswiderstand des Metalls, aus welchem der Draht besteht (siehe Erkl. 570),

so hat man nach Gleichung d). in Antwort auf Frage 353 für den Widerstand r die Relation:

die Metalle erhitzt oder geglüht, so nimmt deren Widerstand in anderen Verhältnissen zu.

So fand *Müller* bei einem Eisendraht, welcher bei 21° Celsius einen Widerstand von 690,7 Einheiten hatte, als derselbe erhitzt wurde,

bei 285° Celsius	1660	dieser Einheiten,
beim beginnend. Anlaufen	2250	„ „
bei Dunkelgrauglut	2460	„ „
„ schwacher Glut	3050	„ „
„ Dunkelrotglut	3200	„ „
„ Hellrotglut	4550	„ „
„ Gelbglut	4880	„ „

In gleicher Weise fand er

bei einem Kupferdraht

bei 21° Celsius	864	Widerstandseinh.
beim beginnend. Glühen	2100	„
bei Karmoisinrotglut	2450	„
„ Ziegelrotglut	3300	„
„ Hellrotglut	4700	„

und bei einem Platindraht

bei 21° Celsius	1985,5	Widerstandseinh.
„ sehr schwach. Glüh.	4300	„
„ Rotglut	4700	„
„ Hellrotglut	5050	„
„ Orangeglut	5400	„
„ Hellgelbglut	6000	„

Erkl. 651. Zu nebenstehendem Satz 6). ist folgendes zu bemerken:

Bei den in nebenstehender Antwort abgeleiteten Gleichungen ist die Annahme gemacht, dass die Wärmeabgabe aus dem erwärmten Draht nur durch Strahlung stattfinde. Diese Annahme ist insofern annähernd gerechtfertigt, als die Wärmeabgabe bei glühenden Drähten, welche, wie dies meist der Fall ist, von der atmosphärischen Luft umgeben sind, zum weitaus grössten Teil durch Strahlung erfolgt (siehe Erkl. 645). Dass jedoch auch Wärme durch Leitung an die umgebende Luft abgegeben wird, geht aus den in Antwort auf Frage 407 beschriebenen Experimenten 1).—3). hervor.

$$r = \frac{l}{\frac{d^2}{4}\pi} s \quad \text{(siehe Erkl. 648)}$$

oder:

$$\text{e).} \quad r = \frac{4ls}{d^2\pi}$$

Setzt man den Wert von r aus Gleichung e). in Gleichung d). ein, so ergibt sich:

$$t = \frac{4lsq\,J^2}{d^2\pi k d\pi l f}$$

oder:

$$\text{f).} \quad t = \frac{4q}{k\pi^2} \cdot \frac{sJ^2}{fd^3} \quad \text{(s. Erkl. 649).}$$

Aus Gleichung f). kann man somit für die galvanische Temperaturerhöhung von Drähten folgende Sätze ableiten:

Die Temperaturerhöhung t ist:

1). proportional dem spezifischen Leitungswiderstand s (siehe die Erkl. 570 u. 650), bezw. umgekehrt proportional dem spezifischen Leitungsvermögen (siehe die Antworten auf die Fragen 354 und 405);

2). proportional dem Quadrat der Stromstärke J (siehe Antwort auf Frage 406);

3). umgekehrt proportional dem Wärmeausstrahlungsvermögen f des Drahts (siehe Antwort auf Frage 407);

4). umgekehrt proportional der dritten Potenz des Durchmessers d des Drahts (siehe Antwort auf Frage 408);

5). unabhängig von der Länge l des Drahts, unter der Voraussetzung, dass die Stromstärke bei grösserer oder geringerer Länge des Drahts stets gleich bleibt (siehe Antwort auf Frage 409);

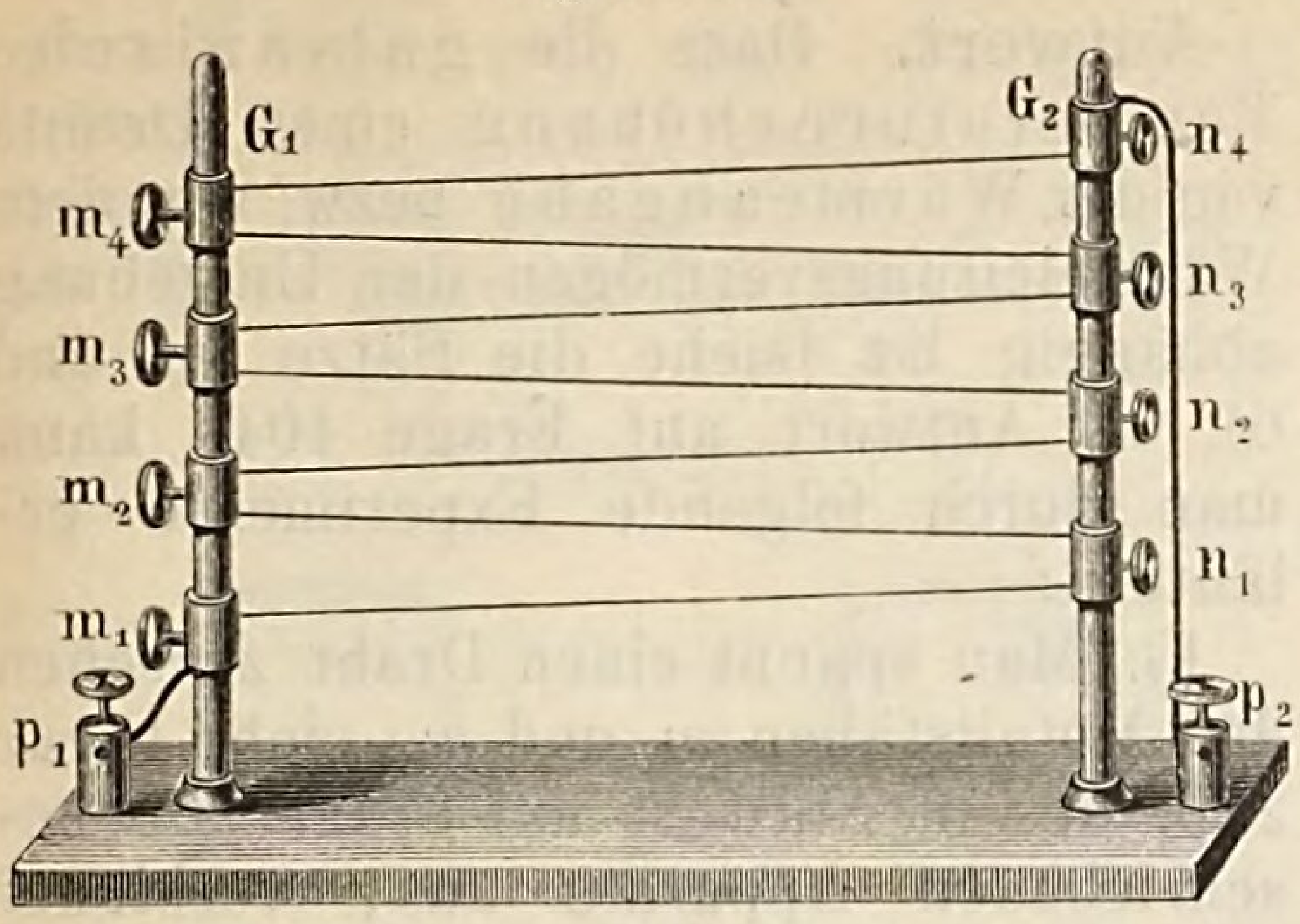
6). die Temperaturerhöhung ist je nach dem Wärmeleitungsvermögen der Umgebung verschieden (siehe Erkl. 651 und Antwort auf Frage 407).

Frage 405. Wie kann man den in voriger Antwort abgeleiteten Satz 1).: „Die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahts ist proportional dem spezifischen Leitungswiderstand des Metalls, aus welchem der Draht besteht,“ experimentell erläutern?

Antwort. Den in voriger Antwort abgeleiteten Satz 1).:

„Die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahts ist proportional dem spezifischen Leitungswiderstand des Metalls, aus welchem der Draht besteht,“ kann man durch die in Antwort auf Frage 250 beschriebenen Versuche experimentell erläutern. Hat man z. B.

Figur 225.



in dem dort unter 2). beschriebenen Apparat, siehe Figur 225, je einen Draht aus Silber, Kupfer, Gold, Messing, Eisen, Platin und Neusilber eingespannt, und sind alle diese Drähte von genau gleicher Dicke, so wird, wenn das Experiment nach der angegebenen Vorschrift ausgeführt wird, zuerst der Neusilberdraht, alsdann der Platindraht etc. und zuletzt der Silberdraht ins Glühen geraten, entsprechend den sich aus Antwort auf Frage 354 und aus Erkl. 570 ergebenden spezifischen Leitungswiderständen der eben erwähnten Metalle (siehe die Erkl. 652 bis 654).

Frage 406. Wie kann man experimentell darthun, dass die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahts mit der Stromstärke zu- und abnimmt?

Erkl. 652. Zu dem in nebenstehender und in den folgenden Antworten beschriebenen Experimenten bedarf man eines elektrischen Stroms, welcher stark genug ist, um die beabsichtigten Glüherscheinungen in den verwendeten Drähten hervorzubringen (siehe Erkl. 653).

Erkl. 653. Hat man eine galvanische Säule, deren elektrischer Strom für eines der in nebenstehender und in den folgenden Antworten beschriebenen Experimente zu stark ist, so muss man die Stromstärke durch einen Stromregulator auf die erforderliche Grösse bringen (siehe Erkl. 654).

Erkl. 654. Der in voriger Erklärung erwähnte Stromregulator muss aus möglichst dicken und dabei entsprechend langen Drähten bestehen, damit derselbe sich beim Einschalten nicht zu stark erhitzt.

Erkl. 655. Durch Abkühlen eines glühenden Drahts wird dessen Widerstand verringert (siehe Erkl. 650).

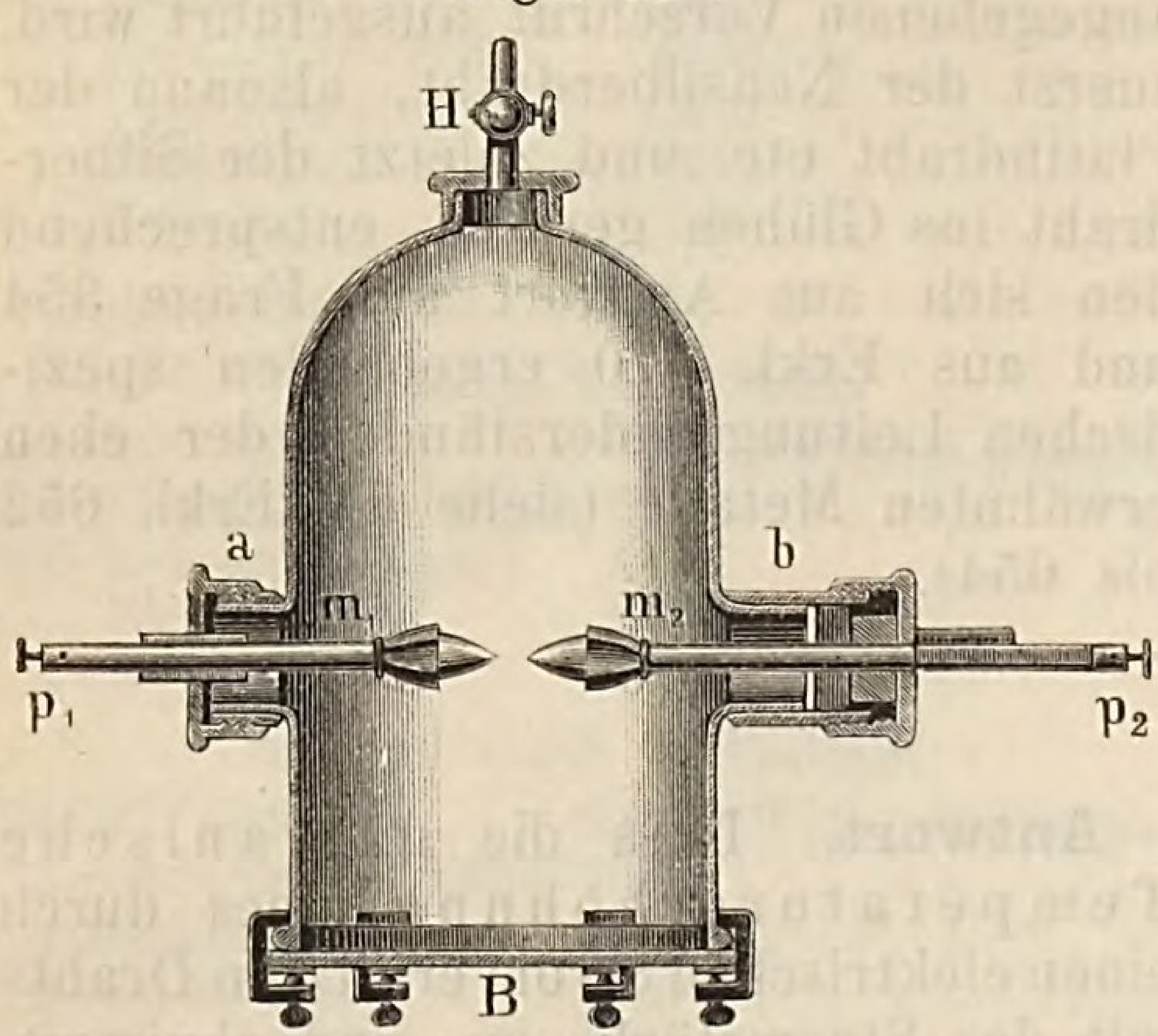
Antwort. Dass die galvanische Temperaturerhöhung eines durch einen elektrischen Strom erhitzten Drahts mit der Stromstärke zu- und abnimmt, entsprechend dem in Antwort auf Frage 404 aufgestellten Satz 2). kann man unter anderem experimentell darthun, indem man durch Veränderung des Widerstands mittels eines Stromregulators die Stromstärke verändert. Man kann dieses Experiment auch ausführen wie folgt:

1). Man schaltet einen Platindraht in den Stromkreis einer entsprechend starken galvanischen Säule und stellt die Stromstärke mittels eines Stromregulators (siehe Antwort auf Frage 198 und die Erkl. 653 und 654) so ein, dass der eingeschaltete Draht schwach glüht. Alsdann erhitzt man einen Teil dieses Drahts durch eine Weingeistlampe. Dadurch wird der Widerstand an der erhitzten Stelle des Drahts grösser (siehe Erkl. 650), die Stromstärke in dem Stromkreis nimmt ab und der nicht von aussen erhitzte Teil des Drahts hört auf, zu glühen.

2). Man kühlt einen Teil des unter 1). erwähnten schwach glühenden Platindrahts durch Auflegen von Eis. Hierdurch wird der Widerstand des abgekühlten Teils vermindert (s. Erkl. 655), die Stromstärke nimmt zu und der nicht abgekühlte Teil des Drahts glüht stärker als zuvor.

Frage 407. Wie kann man experimentell erläutern, dass die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahts von der Wärmeabgabe an die Umgebung abhängig ist?

Figur 226.



Erkl. 656. Zu dem nebenstehend unter 1). beschriebenen Experiment ist zu bemerken, dass Luft um so schlechter die Wärme leitet, je verdünnter sie ist. Je mehr also die Luft durch Auspumpen verdünnt wird, um so weniger Wärme wird dem galvanisch glühenden Draht entzogen, um so grösser wird also unter sonst gleich bleibenden Umständen nach Antwort auf Frage 404 unter 6). die Temperaturerhöhung des Drahts.

Erkl. 657. Oele unter Wasser besitzen ein grösseres Wärmeleitungsvermögen als atmosphärische Luft.

Erkl. 658. Wasserstoffgas besitzt ein grösseres Wärmeleitungsvermögen als atmosphärische Luft (siehe folgende Erkl.).

Erkl. 659. Ausführliches über den Wasserstoff und die Darstellung desselben findet man in Kleyers Encyklopädie in dem Lehrbuch der Experimental-Chemie von *Steffen* (siehe dort die Antworten auf die Fragen 70 bis 80).

Erkl. 660. Wird ein Draht von rundem Querschnitt platt gewalzt oder gehämmert, so behält der Querschnitt die gleiche Flächengrösse, allein durch die Formveränderung ist eine Vergrösserung der Oberfläche des Drahts bedingt (siehe Erkl. 661).

Erkl. 661. Nach Erkl. 647 ist das Wärmestrahlungsvermögen eines Körpers annähernd proportional seiner Oberfläche. Da nach voriger Erklärung ein platt gewalzter Draht eine grössere Oberfläche besitzt als ein runder von gleichem Querschnitt, so strahlt der platte Draht mehr Wärme aus als der runde und die galvanische Temperaturerhöhung desselben vermindert sich entsprechend dem in Antwort auf Frage 404 definierten Satz 3). [siehe nebenstehende Antwort unter 4).].

Antwort. Dass die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahts von der Wärmeabgabe bezw. von dem Wärmeleitungsvermögen der Umgebung abhängig ist [siehe die Sätze 3). und 6). in Antwort auf Frage 404] kann man durch folgende Experimente erläutern:

1). Man spannt einen Draht zwischen den Metallstäben m_1 und m_2, siehe Figur 226, des in Antwort auf Frage 265 beschriebenen Apparats aus, verbindet denselben mittels der Klemmschrauben p_1 und p_2 mit einer galvanischen Säule und reguliert den elektrischen Strom, so dass der Draht schwach glüht. Pumpt man nun mittels einer Luftpumpe einen Teil der Luft aus dem Apparat, so glüht der Draht um so stärker, je grösser die Luftverdünnung wird (siehe Erkl. 656).

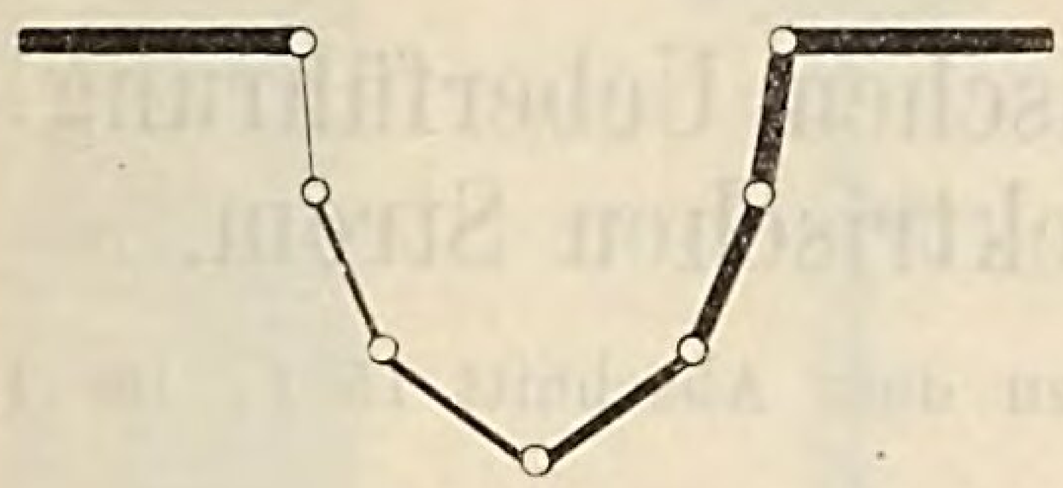
2). Taucht man einen Draht, welcher durch einen elektrischen Strom an der Luft zum Glühen erhitzt wird, in Wasser oder in Oel, und schaltet ihn alsdann wieder in den Stromkreis, so kommt er nicht mehr ins Glühen (s. Erkl. 657).

3). Bringt man einen Platindraht durch einen elektrischen Strom zum Glühen und bedeckt ihn während des Glühens durch eine mit Wasserstoff gefüllte Glasglocke, so hört das Glühen auf, so dass das von dem Draht ausgestrahlte Licht plötzlich erlischt (siehe die Erkl. 658 und 659).

4). Wird ein Draht von rundem Querschnitt, welcher durch einen elektrischen Strom zum Glühen gebracht wird, glatt gewalzt, so glüht er in demselben Stromkreis bei gleicher Stromstärke und unter sonst gleichen Umständen weniger stark (siehe Erkl. 660).

Frage 408. Wie kann man experimentell erläutern, dass die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahts um so geringer ist, je grösser der Durchmesser des Drahts ist?

Figur 227.

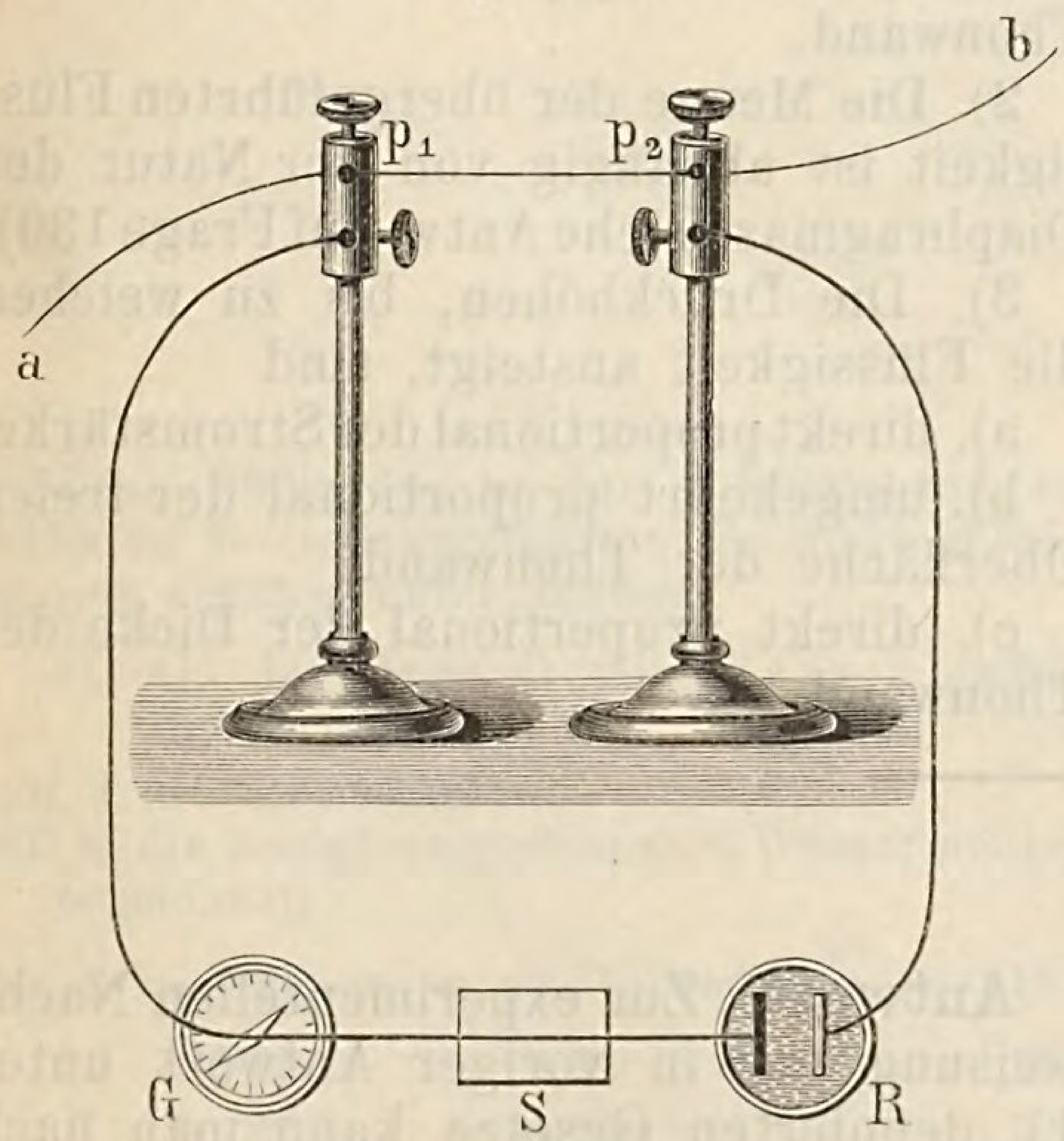


Antwort. Dass die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahts um so geringer ist, je grösser der Durchmesser des Drahts unter sonst gleichbleibenden Umständen ist [siehe Satz 4). in Antwort auf Frage 404], kann man experimentell erläutern wie folgt:

Man verbindet Platindrähte von verschiedener Dicke zu einer Kette, siehe Figur 227, und schaltet diese Kette in den Stromkreis einer starken galvanischen Säule. Dabei glühen die dünnsten Kettenglieder am stärksten, diejenigen dagegen, welche genügend dick sind, glühen gar nicht.

Frage 409. Wie kann man experimentell beweisen, dass die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahts unter sonst gleichbleibenden Umständen von der Länge des Drahts unabhängig ist?

Figur 228.



Antwort. Dass die galvanische Temperaturerhöhung eines Drahts unter sonst gleichbleibenden Umständen von der Länge des Drahts unabhängig ist, kann man experimentell beweisen wie folgt:

1). Man befestigt zwei Klemmschrauben p_1 und p_2, siehe Figur 228, auf je ein Stativ und schraubt ein nur kurzes Stück eines langen Drahts ab in diesen Klemmschrauben fest. Alsdann schaltet man p_1 und p_2 nebst einer Tangentenbussole G und einem Stromregulator S (siehe Erkl. 288) in den Stromkreis einer galvanischen Säule R und reguliert den Strom derart, dass das Drahtstück zwischen p_1 und p_2 schwach glüht, und beobachtet die Ablenkungswinkel an der Tangentenbussole.

Alsdann schraubt man ein längeres Stück des Drahts ab zwischen p_1 und p_2 fest. Da durch das Einschalten des längeren Drahtstücks der Widerstand im Stromkreis grösser, daher die Stromstärke kleiner wird, so hört nun der Draht auf zu glühen. Reguliert man nun durch Ausschalten von Widerstand an dem Stromregulator S den Strom derart, dass der Ablenkungswinkel der Tangentenbussole wieder der gleiche, dass also die Stromstärke wieder die gleiche ist wie vorher, so glüht der Draht wieder ebenso stark als vorher.

2). Wählt man bei dem in voriger Antwort beschriebenen Experiment einige Platinkettenglieder, welche genau gleichen Durchmesser haben, von verschiedener Länge, so glühen dieselben gleich stark.

9). Ueber die Gesetze der mechanischen Ueberführung von Elektrolyten durch den elektrischen Strom.

Anmerkung. Dieser Abschnitt ist als Anhang zu dem Abschnitt 15 I, im 1. Teil dieses Lehrbuchs zu betrachten.

Frage 410. Welche Gesetze wurden bezüglich der sogen. elektrischen Endosmose aufgestellt?

Erkl. 662. Die nebenstehend definierten Gesetze wurden von *Wiedemann* aufgestellt.

Antwort. Bezüglich der sog. elektrischen Endosmose (siehe die Antworten auf die Fragen 312—314) wurden folgende Gesetze aufgestellt:

1). Die Menge der in gleichen Zeiten durch eine Thonwand übergeführten Flüssigkeit ist

a). direkt proportional der Stromstärke,

b). unter sonst gleichbleibenden Umständen unabhängig von der Grösse der Oberfläche der Thonwand,

c). unter sonst gleichbleibenden Umständen unabhängig von der Dicke der Thonwand.

2). Die Menge der übergeführten Flüssigkeit ist abhängig von der Natur des Diaphragmas (siehe Antw. auf Frage 130).

3). Die Druckhöhen, bis zu welchen die Flüssigkeit ansteigt, sind

a). direkt proportional der Stromstärke,

b). umgekehrt proportional der freien Oberfläche der Thonwand,

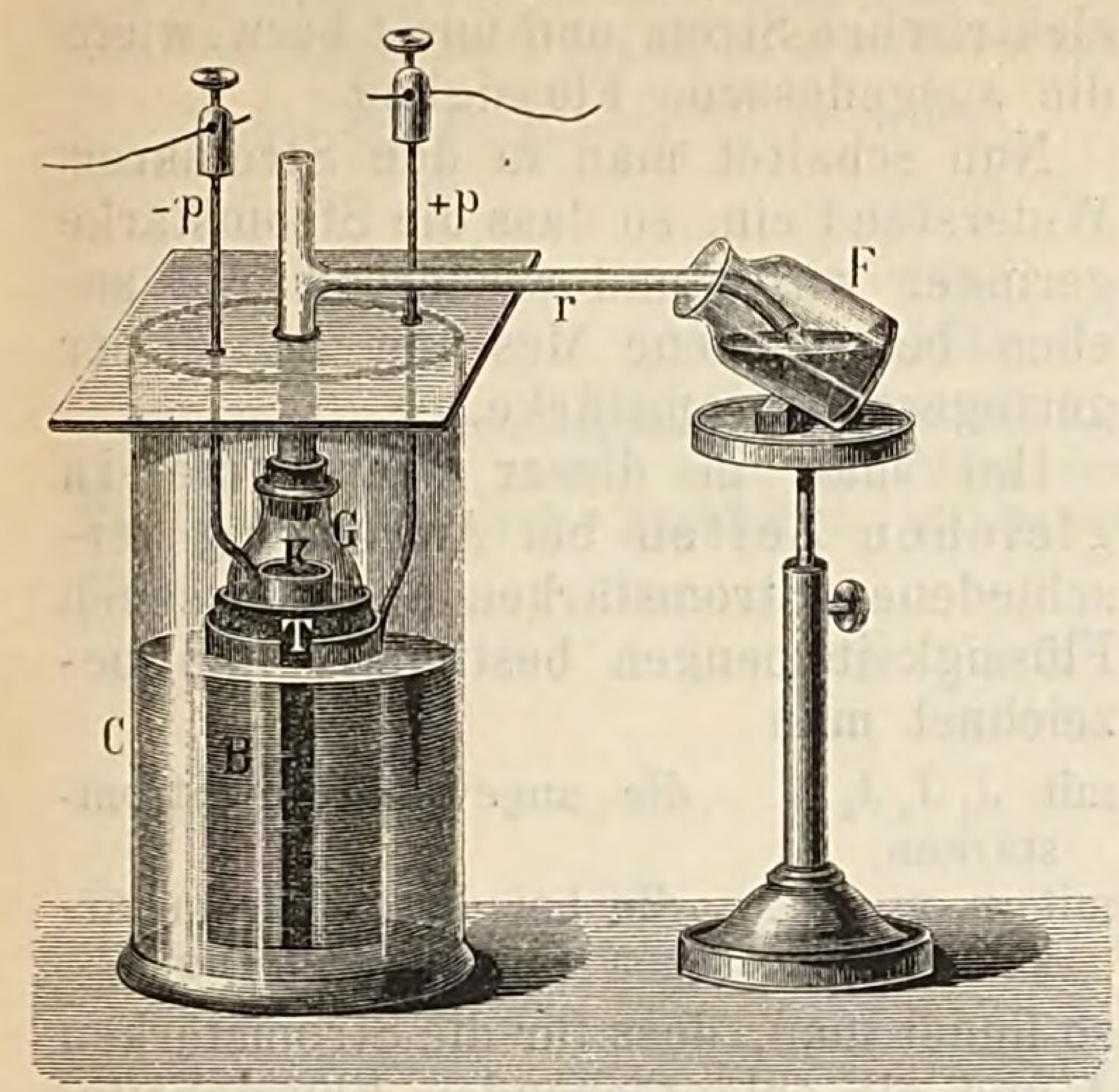
c). direkt proportional der Dicke der Thonwand.

Frage 411. Worin besteht die Einrichtung des Wiedemannschen Apparats, mittels dessen die in voriger Antwort unter 1). definierten Gesetze experimentell nachgewiesen wurden?

Antwort. Zur experimentellen Nachweisung der in voriger Antwort unter 1). definierten Gesetze kann man nach *Wiedemann* sich des folgenden Apparats bedienen:

Der unten geschlossene, oben offene poröse Thoncylinder T, siehe Figur 229, trägt oben eine aufgekittete Glasglocke G, welche mit einem Rohransatz r ver-

Figur 229.



sehen ist. In dem Thoncylinder befindet sich ein Cylinder K von Kupfer- oder Platinblech, welcher durch den Draht $-p$ mit dem negativen Pol einer galvanischen Säule verbunden ist. In die Glocke G ist ein Glasrohr luftdicht eingesetzt, und in dieses Glasrohr ist der Draht $-p$ eingekittet. B ist ein Blechcylinder, welcher den Thoncylinder T umgibt. Der Blechcylinder B steht durch den angelöteten Draht $+p$ mit dem positiven Pol des Rheomotors in Verbindung. Das Ganze befindet sich in dem Glasgefäss C, welches ebenso wie der Thoncylinder mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt und durch eine Glasplatte bedeckt ist. F ist eine Glasflasche, in welche der erwähnte Rohransatz r einmündet.

Frage 412. Wie kann man mittels des in voriger Antwort beschriebenen Wiedemannschen Apparats das in Antwort auf Frage 410 unter 1a). definierte Gesetz experimentell beweisen?

Antwort. Um mittels des in voriger Antwort beschriebenen Wiedemannschen Apparats das in Antwort auf Frage 410 unter 1a). definierte Gesetz:

„Die Menge der in gleichen Zeiten durch eine Thonwand übergeführten Flüssigkeiten ist direkt proportional der Stromstärke,“

experimentell zu beweisen, verfährt man wie folgt:

Man verbindet den Draht $+p$, siehe Figur 229, mit dem positiven, den Draht $-p$ mit dem negativen Pol eines Rheomotors, in dessen Stromkreis sich ein Galvanometer, z. B. eine Tangentenbussole befindet. Schliesst man nun den Stromkreis, so tritt die sog. elektrische Endosmose ein, und die Flüssigkeit fliesst aus der Glocke G in die Flasche F. Während der Zeit, dass der Strom geschlossen ist, beobachtet man die Ablenkung der Magnetnadel der Tangentenbussole und bestimmt daraus nach Antwort auf Frage 335 die Stromstärke in irgend einem Mass, oder man wählt einfach die Tangens des Ablenkungswinkels als Mass der Stromstärke (siehe Antwort auf Frage 333). Nach einer bestimmten, genau gemessenen Zeit (etwa

Erkl. 663. Die in der nebenstehend erwähnten Weise ausgeführten Versuche *Wiedemanns* ergaben unter anderm:

1). Als der Apparat mit Wasser gefüllt war, wenn man

mit J die Stromstärken,
mit m die bezügl. ausgeflossenen Wassermengen bezeichnet,

bei $J = 144$;	$m = 17{,}77$;	somit $\frac{m}{J} = 0{,}123$
108	13,26	0,123
83	10,59	0,127
60	7,46	0,124
48	5,89	0,123
36	4,47	0,124
29	3,38	0,117

$\frac{J}{m}$ im Mittel $= 0{,}123$

2). Als der Apparat mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupfer gefüllt war,

bei J = 106;	m = 2,48;	somit $\frac{m}{J}$ = 0,0234
101	2,32	0,0232
93	2,11	0,0226
65	1,49	0,0229
53,5	1,25	0,0233

eine Viertelstunde) unterbricht man den elektrischen Strom und misst bezw. wiegt die ausgeflossene Flüssigkeit.

Nun schaltet man in den Stromkreis Widerstand ein, so dass die Stromstärke geringer wird, und wiederholt die soeben beschriebene Messung bei dieser geringeren Stromstärke.

Hat man in dieser Weise die in gleichen Zeiten bei Anwendung verschiedener Stromstärken ausgeflossenen Flüssigkeitsmengen bestimmt, und bezeichnet man

mit J_1 J_2 J_3 . . . die angewendeten Stromstärken,

mit m_1 m_2 m_3 . . . die bei diesen Stromstärken ausgeflossenen Flüssigkeitsmengen,

so findet man, dass für die Stromstärken J und die entsprechenden Flüssigkeitsmengen m die Proportion:

a). . . $m_1 : m_2 : m_3 \ldots = J_1 : J_2 : J_3 \ldots$

besteht, dass sonach:

b). . . $\frac{m_1}{J_1} = \frac{m_2}{J_2} = \frac{m_3}{J_3} \ldots$

ist (siehe Erkl. 663), womit das oben definierte Gesetz bewiesen ist.

Frage 413. Wie kann man die in Antwort auf Frage 10 unter 1b). und 1c). definierten Gesetze experimentell nachweisen?

Antwort. Die in Antwort auf Frage 410 unter 1b). und 1c). definierten Gesetze:

„Die durch eine Thonwand übergeführte Flüssigkeitsmenge ist unabhängig von der Grösse der Oberfläche und der Dicke der Thonwand,“

kann man auf verschiedene Art wie folgt nachweisen:

1). Man verringert die Dicke des Thoncylinders T, siehe Figur 229, und wiederholt alsdann das in voriger Antwort beschriebene Experiment. Dabei findet man, dass bei gleicher Stromstärke J die übergeführte Flüssigkeitsmenge m stets die gleiche ist, einerlei welche Dicke der Thoncylinder besitzt.

Verringert man die Oberfläche des Thoncylinders durch Bestreichen mit Harz, so bleibt die übergeführte Flüssigkeitsmenge bei gleicher Stromstärke

Erkl. 664. Als bei dem in voriger Erklärung unter 1). erwähnten Experiment die Oberfläche des Thoncylinders durch Bestreichen mit Harz verkleinert wurde, ergab sich bei einer Oberfläche von

$^3/_4$ der ursprünglichen,		$\frac{m}{J}$ = 0,122
$^3/_8$ „	„	= 0,124
$^3/_{16}$ „	„	= 0,110
$^1/_{16}$ „	„	= 0.110

und bei dem in voriger Erklärung unter 2). erwähnten Experiment bei einer Oberfläche von

$^2/_3$ der ursprünglichen, $\frac{m}{J} = 0{,}0231$

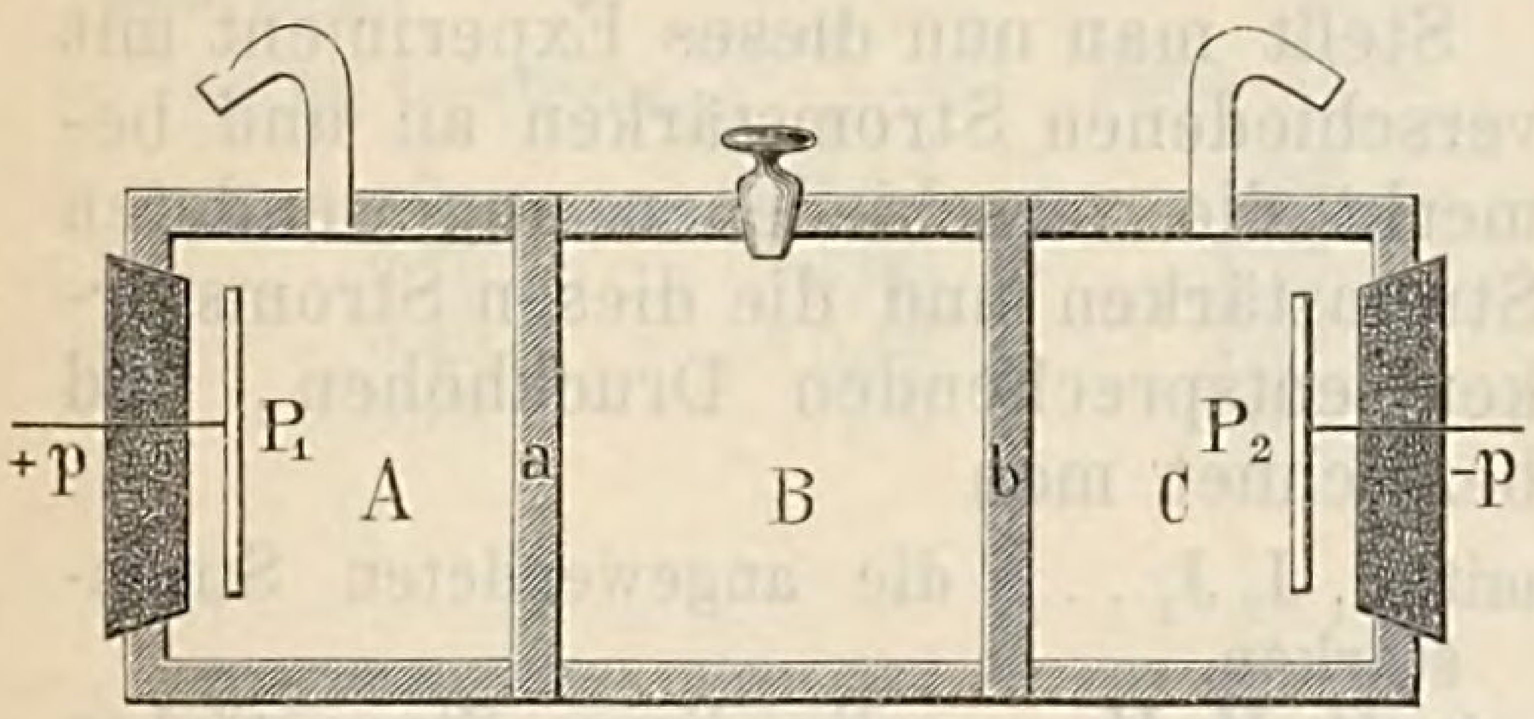
$^1/_3$ „ „ $= 0{,}0235$

$^1/_6$ „ „ $= 0{,}0228$

$^1/_{12}$ „ „ $= 0{,}0231$

Bei beiden Versuchsreihen änderten sich die erhaltenen Werte nicht, wenn die Dicke des Thoncylinders durch Abschaben verringert wurde.

Figur 230.



ebenfalls die gleiche wie zuvor (siehe Erkl. 664).

2). Nach *Hittorf* kann man obigen Satz mit Hülfe des folgenden Apparats experimentell nachweisen:

Ein Glascylinder A, siehe die Querschnittsfigur 230, welcher auf der einen Seite offen ist, wird an dieser offenen Seite durch eine poröse Thonplatte a geschlossen; auf die andere Fläche der Thonplatte a wird ein beiderseitig offener Glascylinder B gesetzt, die zweite Seite von B durch eine Thonplatte b geschlossen und an die andere Seite von b ein einseitig offener Glascylinder C mit der offenen Seite angesetzt. P_1 und P_2 sind Elektroden, welche durch die Drähte $+p$ und $-p$ mit den Polen eines Rheomotors in Verbindung stehen.

Füllt man nun die Cylinder mit Wasser oder mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupfer und schliesst den Strom des Rheomotors, so bleibt der Spiegel der Flüssigkeit in B zwischen den beiden Thonplatten stets gleichhoch, einerlei ob die Oberfläche der einen oder beider Thonplatten durch Lakieren (oder Bestreichen mit Harz) beliebig verkleinert wurde oder nicht, und einerlei, wie dick jede der beiden Thonplatten ist. Es wird somit stets ebensoviel Flüssigkeit von dem die positive Elektrode P_1 [siehe Antwort auf Frage 273 unter 3).] enthaltenden Cylinder A nach B übergeführt, als von B nach dem die negative Elektrode P_2 [siehe Antwort auf Frage 273 unter 4).] enthaltenden Cylinder C.

Frage 414. Wie kann man mittels des in Antwort auf Frage 411 beschriebenen Wiedemannschen Apparats die in Antwort auf Frage 410 unter 3a). und 3b). definierten Gesetze experimentell beweisen?

Antwort. Zur experimentellen Nachweisung der in Antwort auf Frage 410 unter 3a). und 3b). definierten Gesetze:

„Die Druckhöhen, bis zu welchen die Flüssigkeiten bei der elektrischen Endosmose ansteigen, sind direkt proportional der Stromstärke und umgekehrt proportional der freien Oberfläche der Thonwand,“

verbindet man den in Antwort auf Frage 411 erwähnten Rohransatz r des in Fi-

gur 231 dargestellten Apparats mit dem Quecksilbermanometer M (siehe die Erkl. 665 und 666) und verschliesst die obere Oeffnung o des Rohransatzes. Alsdann verbindet man den Draht $+p$ mit dem positiven Pol eines Rheomotors, den Draht $-p$ mit dem negativen Pol desselben, schaltet in diesen Stromkreis eine Tangentenbussole ein und schliesst den Stromkreis. Durch die Stromwirkung wird nun die Flüssigkeit aus dem Thoncylinder T durch den Rohransatz hinaufgeführt, die Flüssigkeit übt infolgedessen einen Druck auf das Quecksilber des Manometers M aus, durch welchen das Quecksilber in dem Schenkel bc in die Höhe gehoben wird. Die Druckhöhe des Quecksilbers wird an dem Massstab des Manometers gemessen.

Stellt man nun dieses Experiment mit verschiedenen Stromstärken an und bemerkt die verschiedenen angewendeten Stromstärken und die diesen Stromstärken entsprechenden Druckhöhen, und bezeichnet man

mit $J_1\, J_2\, J_3 \ldots$ die angewendeten Stromstärken,

mit $H_1\, H_2\, H_3 \ldots$ die diesen Stromstärken entsprechenden Druckhöhen,

so findet man, dass

a). . . $H_1 : H_2 : H_3 : \ldots = J_1 : J_2 : J_3 : \ldots$

d. h. dass diese Druckhöhen den bezüglichen Stromstärken proportional sind, dass somit

b). . . $\frac{H_1}{J_1} = \frac{H_2}{J_2} = \frac{H_3}{J_3} = \ldots$ ist.

Wiederholt man nun dieses Experiment, nachdem man die Oberfläche des porösen Thoncylinders T, siehe Figur 231, durch Lakieren oder Bestreichen mit Harz verkleinert hat, und bezeichnet man

mit $o_1\, o_2\, o_3 \ldots$ die Grössen der Oberflächen des Thoncylinders, und

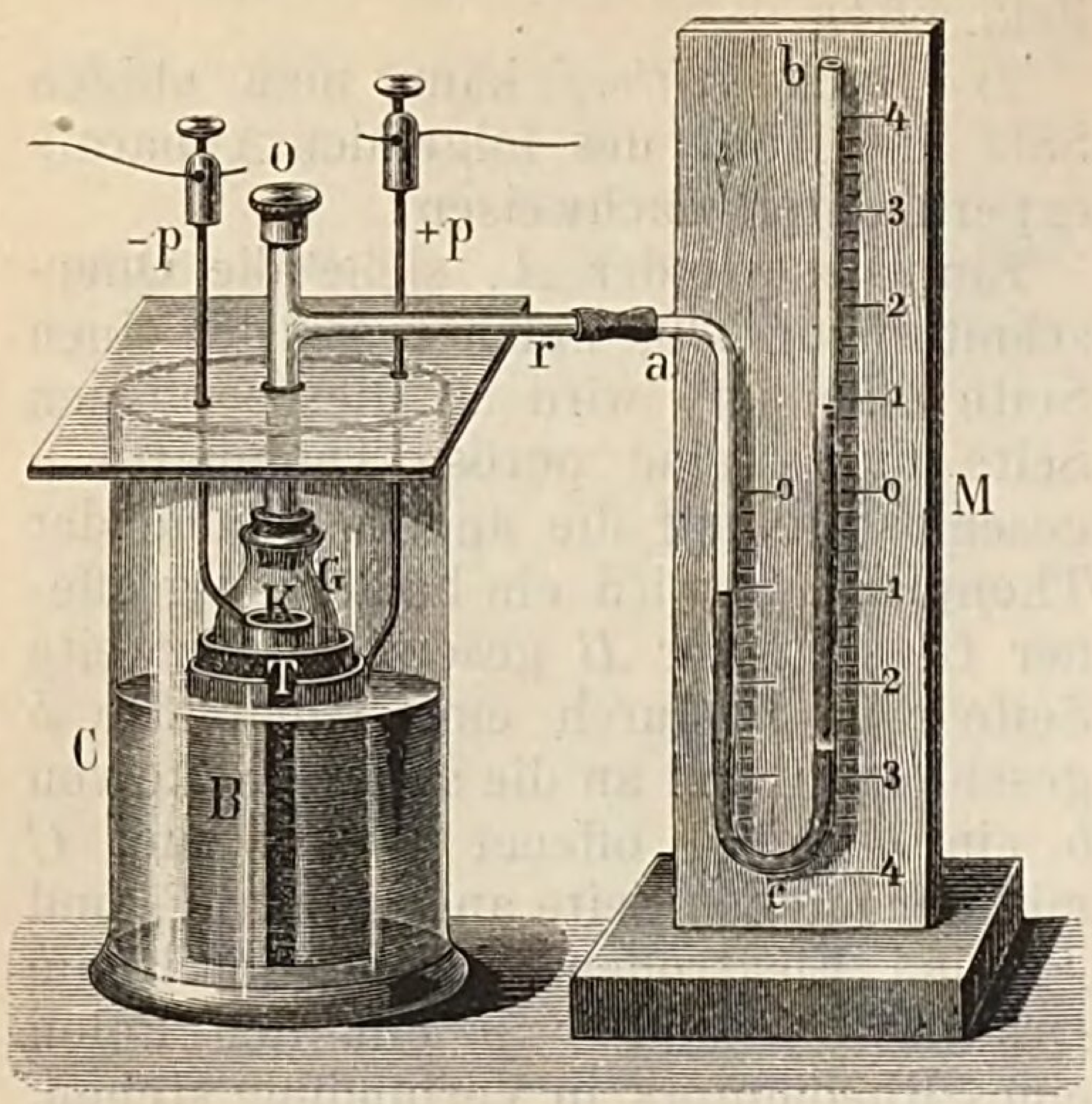
mit $h_1\, h_2\, h_3 \ldots$ die bezüglichen Druckhöhen,

so findet man ferner, dass

c). . . $h_1 : h_2 : h_3 : \ldots = \frac{1}{o_1} : \frac{1}{o_2} : \frac{1}{o_3} : \ldots$

dass somit diese Druckhöhen bei gleicher Stromstärke den freien

Figur 231.



Erkl. 665. Manometer (vom griech. μανός = dünn und μετρόν = Mass) ist ein Apparat zur Messung der Dichte von Gasen und Dämpfen.

Erkl. 666. Das in nebenstehender Antwort erwähnte Manometer M, siehe Figur 231, besteht aus einer Uförmig gebogenen, bei a und b offenen Glasröhre, welche zum Teil mit Quecksilber gefüllt ist. Wird nun bei a eine Flüssigkeit in die Manometerröhre ab hineingedrückt, so steigt das Quecksilber entsprechend diesem Druck in dem Schenkel bc in die Höhe. Die Höhe, welche das Quecksilber einnimmt, ohne dass auf einen der beiden Schenkel ein Druck wirkt, bezeichnet man als den Nullpunkt; die Höhen, bis zu welchen das Quecksilber in dem Schenkel bc steigt, wenn in dem Schenkel ac ein Druck wirkt, wird durch einen an dem Holzbrett, auf welchem die Röhre acb befestigt ist, angebrachten Massstab gemessen. Dieser Massstab ist gewöhnlich in Millimeter eingeteilt. Man spricht dementsprechend von einem „Manometerdruck von 1, 2, n Millimeter“. Ausführliches über die verschiedenen Manometer findet man in Kleyers Encyklopädie in den Lehrbüchern der Mechanik.

Oberflächen des Thoncylinders umgekehrt proportional sind, dass somit

$$\text{d).} \ldots \frac{h_1}{o_1} = \frac{h_2}{o_2} = \frac{h_3}{o_3} = \ldots \text{ ist.}$$

Da nun für die Druckhöhen h_1 und H_2 bei den bezüglichen Stromstärken i_1 und i_2 und bei gleichbleibender Oberfläche o_1 die Proportion:

$$\text{e).} \ldots \; h_1 : H_2 = i_1 : i_2$$

und für die Druckhöhen H_2 und h_2 und die bezüglichen Oberflächen o_1 und o_2 bei gleichbleibender Stromstärke i_2 die Proportion:

$$\text{f).} \ldots \; H_2 : h_2 = \frac{1}{o_1} : \frac{1}{o_2}$$

besteht, so erhält man durch Multiplikation von Gleichung e). und f).:

$$h_1 H_2 : H_2 h_2 = \frac{i_1}{o_1} : \frac{i_2}{o_2}$$

oder:

$$\text{g).} \ldots \; h_1 : h_2 = \frac{i_1}{o_1} : \frac{i_2}{o_2}$$

oder:

$$\text{h).} \ldots \; \frac{h_1 o_1}{i_1} = \frac{h_2 o_2}{i_2}$$ (siehe Erkl. 667).

Erkl. 667. *Wiedemann* untersuchte unter anderem in der nebenstehend beschriebenen Weise das Verhalten einer 19prozentigen Lösung von schwefelsaurem Kupfer und fand bei unveränderter Oberfläche des Thoncylinders die innachfolgender Tabelle angegebenen Resultate:

bei der Stromstärke $i =$	erhaltene Druckhöhe $h =$	demnach $\frac{h}{i} =$
128	176,5	1,38
109	147,5	1,35
97	132,5	1,37
73	100,5	1,38
65,3	89,0	1,36
58,3	80,5	1,38
45	61,0	1,36
26,5	37,5	1,41
13	19,5	1,36

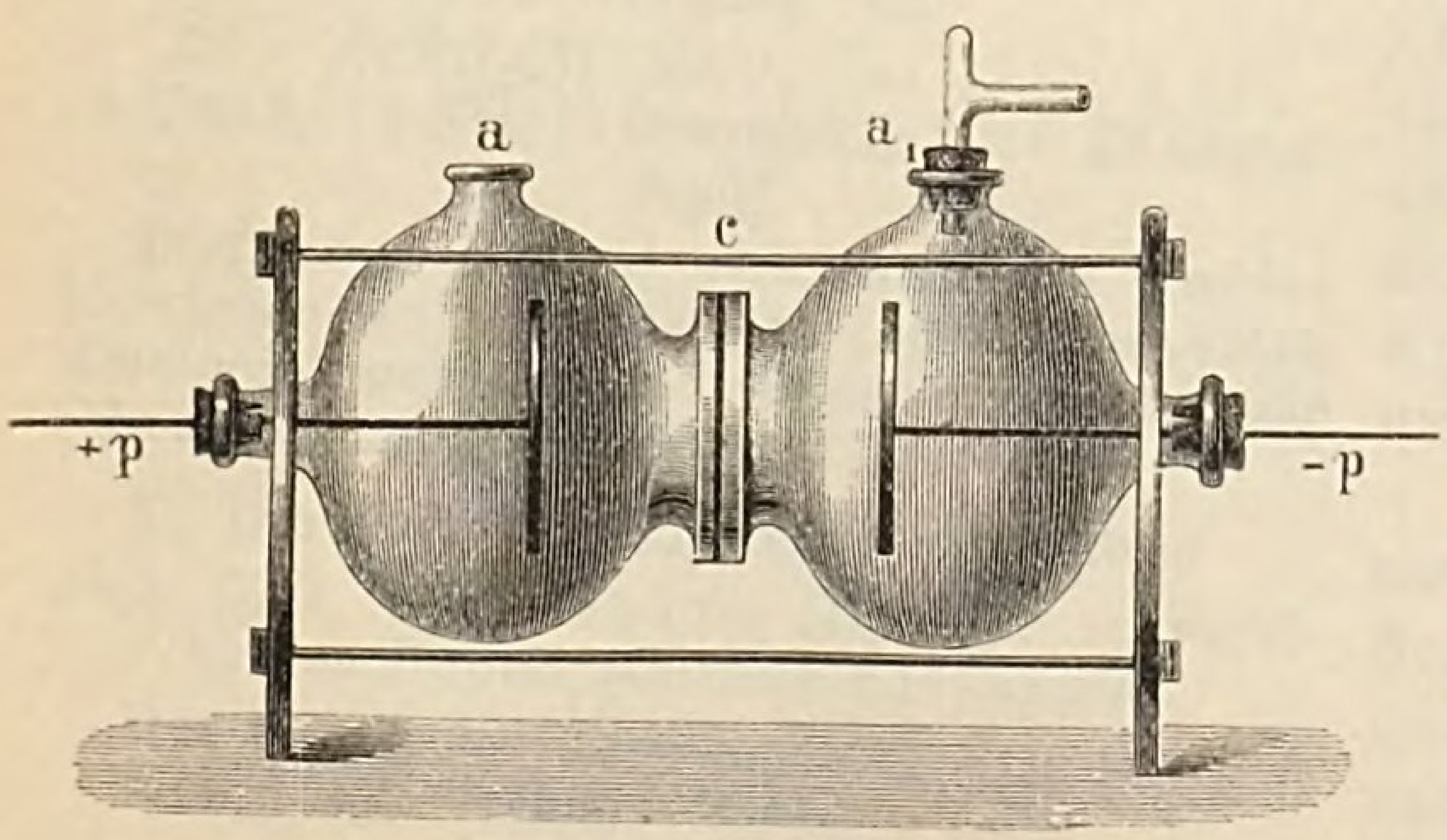
$$\frac{h}{i} = 1{,}37 \text{ im Mittel.}$$

Als die Oberfläche o des Thoncylinders, wie nebenstehend angegeben, verkleinert wurde, ergab sich

bei der Oberfläche	$\frac{h}{i} =$	somit $\frac{h\,o}{i} =$
0	1,37	1,37
0,70	1,80	1,26
0,40	3,42	1,37
0,20	6,00	1,20

Frage 415. Wie kann man nach *Wiedemann* das in Antwort auf Frage 410 unter 3c). definierte Gesetz experimentell nachweisen?

Figur 232.



Antwort. Um das in Antwort auf Frage 410 unter 3c). definierte Gesetz:

„Die Druckhöhen der übergeführten Flüssigkeiten sind direkt proportional der Dicke der Thonwand,“

experimentell nachzuweisen, bedient man sich nach *Wiedemann* des in Antwort auf Frage 278 unter 2). beschriebenen Apparats, siehe Figur 232. Das obere Ende des Rohres bei a_1 ist verschlossen; der seitliche Fortsatz dieses Rohres wird mit dem Manometer M, siehe Figur 231, verbunden und der Hals a bleibt geöffnet. Verbindet man nun $+p$ mit dem positiven, $-p$ mit dem negativen Pol eines Rheomotors und misst die Druckhöhen bei verschiedenen Stromstärken, und verringert man die Dicke der Thonplatte c während einer solchen Versuchsreihe, so erhält man die Bestätigung des oben definierten Gesetzes.

Erkl. 668. Bei einer nach nebenstehender Antwort ausgeführten Versuchsreihe fand *Wiedemann*

bei einer Dicke der Thonplatte $d =$	und $\frac{h}{i} =$	somit $\frac{h}{di} =$
4,3 mm	1,73	4,02
3,8 mm	1,60	4,21
2,8 mm	1,21	4,32

und bei einer andern Versuchsreihe:

8 mm	3,30	0,41
4 mm	1,62	0,40
1,7—2 mm	0,73	0,43—0,36

Bezeichnet man
mit h_1 und H_2 die Druckhöhen,
mit d_1 und d_2 die bezüglichen Dicken der Thonwand bei gleichbleibender Stromstärke i_1,
so besteht demnach die Proportion:

a). $h_1 : H_2 = d_1 : d_2$

Bezeichnet man ferner
mit h_2 die Druckhöhe, welche bei Anwendung der Thonwand von der Dicke d_2 und bei einer Stromstärke i_2 erhalten wird,
so besteht die fernere Proportion:

b). $H_2 : h_2 = i_1 : i_2$

Multipliziert man die beiden Proportionen a). und b)., so erhält man:

$$h_1 H_2 : H_2 h_2 = d_1 i_1 : d_2 i_2$$

oder:

c). $h_1 : h_2 = d_1 i_1 : d_2 i_2$

mithin:

d). $\frac{h_1}{d_1 i_1} = \frac{h_2}{d_2 i_2}$ (s. Erkl. 668).

10). Ueber die chemische Energie galvanischer Elemente.

Erkl. 669. Das Wort „Energie“ (griech. ἐνέργεια = Wirksamkeit, Thatkraft) bedeutet „Fähigkeit zu wirken“.

Erkl. 670. Unter Energie versteht man in der Lehre von der Mechanik, Chemie und Elektricität die Fähigkeit, Arbeit zu leisten.

Erkl. 671. Unter chemischer Energie oder chemischer Verwandtschaftskraft versteht man die Fähigkeit chemischer Körper, sich miteinander zu verbinden und bei diesem Verbindungsvorgang (chemischen Prozess) Arbeit zu leisten.

Erkl. 672. Die bei chemischen Prozessen geleistete Arbeit kann sich in verschiedener Weise äussern, z. B. als Wärme, als Elektricität, als Bewegung.

Wird z. B. Schwefelsäure mit Kali in Berührung gebracht, so verbinden sich beide Körper zu schwefelsaurem Kali. Bei diesem Verbindungsvorgang wird Wärme erzeugt, welche sich durch Erhöhung der Temperatur des Gemischs der Körper, des Gefässes, in welchem sie enthalten sind, und der Umgebung kundgibt.

Erkl. 673. Die bei einem chemischen Verbindungsvorgang erzeugte Wärmemenge ist ein Mass der chemischen Energie, welche diesen Verbindungsvorgang bewirkt.

A). Ueber die chemischen Vorgänge in galvanischen Elementen.

Frage 416. Welche chemischen Vorgänge finden in einem geschlossenen galvanischen Element statt?

Antwort. Wird irgend ein galvanisches Element geschlossen, so geht das Metall der positiven Elektrode mit der umgebenden Flüssigkeit eine Verbindung ein, und an der negativen Elektrode wird je nach der Art des Elements ein fester oder flüssiger oder gasförmiger, einfacher oder zusammengesetzter Körper abgeschieden (s. Erkl. 674).

Erkl. 674. In den meisten galvanischen Elementen besteht die positive Elektrode aus Zink. In diesen Elementen wird somit bei geschlossenem Stromkreis Zink aufgelöst, d. h. durch einen chemischen Prozess zwischen dem Zink und der dasselbe umgebenden Flüssigkeit wird ein Zinksalz gebildet. Es wird somit bei geschlossenem Stromkreis das Zink und die dasselbe umgebende Flüssigkeit verbraucht.

Frage 417. Welches sind die chemischen Vorgänge in den bekanntesten galvanischen Elementen, wenn der Stromkreis derselben geschlossen ist?

Antwort. Die bei geschlossenem Stromkreis stattfindenden chemischen Vorgänge in einigen der bekanntesten galvanischen Elementen sind:

1). In den Elementen nach *Volta* oder *Smee* (siehe die Antworten auf die Fragen 45—55 und 60 und 61), welche verdünnte Schwefelsäure enthalten, verbindet sich das Zink mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zink; die Schwefelsäure wird also zersetzt und an der negativen Elektrode wird Wasserstoffgas entwickelt [siehe Erkl. 675 unter 1).].

2). Im Leclanché-Element verbindet sich das Zink mit dem Chlor des Salmiaks zu Chlorzink; dabei wird Ammoniak gebildet, welches sich in der Elementflüssigkeit löst und die negative Elektrode wird zersetzt, wobei sich Manganoxyd bildet [s. Erkl. 675 unter 2).].

3). Im Daniell-Element verbindet sich das Zink mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zink; das schwefelsaure Kupfer wird zersetzt, und an der negativen (Kupfer-) Elektrode wird Kupfer niedergeschlagen [siehe Erkl. 675 unter 3).].

4). In den Grove- und Bunsen-Elementen verbindet sich das Zink mit Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zink, und die Salpetersäure wird in Wasser und Untersalpetersäure zersetzt [siehe Erkl. 675 unter 4).].

5). In dem Bunsenschen Chromsäure-Element verbindet sich Zink mit Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zink,

Erkl. 675. Die nebenstehend erwähnten chemischen Verbindungs- und Zersetzungsvorgänge können durch folgende chemischen Gleichungen ausgedrückt werden:

1). Die Volta- oder Smee-Elemente enthalten

Zink (Zn), Schwefelsäure (H_2SO_4) und Kupfer oder Platin.

Der chemische Vorgang ist:

$$Zn \quad H_2SO_4 = $$
$$= ZnSO_4 \quad H_2 \text{ (Wasserstoff)}.$$

In diesen Elementen wird somit die positive Elektrode (Zn) zu schwefelsaurem Zink ($ZnSO_4$) aufgelöst, die negative Elektrode (Kupfer oder Platin) bleibt unverändert.

2). Die Leclanché-Elemente enthalten Zink (Zn), Salmiak (NH_4Cl), Mangansuperoxyd (MnO_2).

Der chemische Vorgang ist:

$$Zn \quad 2\,(NH_4Cl) \quad MnO_2 =$$
$$= ZnCl_2 \quad 2\,NH_3 \text{ (Ammoniak)} \quad MnO \text{ (Manganoxyd)}.$$

In diesem Element wird somit die positive Elektrode (Zn) zu Chlorzink ($ZnCl_2$) aufgelöst, Ammoniak gebildet und die negative Elektrode (MnO_2) in MnO verändert.

3). Die Daniell-Elemente enthalten Zink (Zn), Schwefelsäure (H_2SO_4), schwefelsaures Kupfer ($CuSO_4$) und Kupfer.

Der chemische Vorgang ist:

$$Zn \quad H_2SO_4 \quad CuSO_4 =$$
$$= ZnSO_4 \quad H_2SO_4 \quad Cu$$

In diesen Elementen wird somit die positive Elektrode (Zn) zu schwefelsaurem Zink ($ZnSO_4$) aufgelöst und an der negativen Elektrode wird

Kupfer (Cu) abgeschieden, welches diese Elektrode als metallischer Niederschlag überzieht.

4). Die Grove- und Bunsen-Elemente enthalten

Zink (Zn), Schwefelsäure (H_2SO_4), Salpetersäure (HNO_3) und Platin bezw. Kohle.

Der chemische Vorgang ist:

$$Zn \quad H_2SO_4 \quad 2\,HNO_3 \quad =$$
$$= \quad ZnSO_4 \quad H_2O, H_2O \quad N_2O_4$$

In diesen Elementen wird somit Zink (Zn) aufgelöst und Wasser ($2\,H_2O$) und Untersalpetersäure (N_2O_4) gebildet.

5). Das Bunsensche Chromsäure-Element enthält:

Zink (Zn), Schwefelsäure (H_2SO_4), Chromsäure (Cr_2O_6) und Kohle.

Der chemische Vorgang ist:

$$3\,Zn \quad 3\,H_2SO_4 \quad Cr_2O_6 \quad =$$
$$= \quad 3\,ZnSO_4 \quad 3\,H_2O \quad Cr_2O_3$$

In diesem Element wird somit Zink (Zn) zu schwefelsaurem Zink ($ZnSO_4$) gelöst und Wasser ($3\,H_2O$) und Chromoxyd (Cr_2O_3) gebildet.

6). Das Pincus-Element enthält

Zink (Zn), Salzsäure (HCl), Chlorsilber (AgCl) und Silber.

Der chemische Vorgang ist:

$$Zn \quad 2\,HCl \quad 2\,AgCl \quad =$$
$$= \quad ZnCl_2 \quad 2\,HCl \quad 2\,Ag$$

In diesem Element wird somit Zink (Zn) zu Chlorzink ($ZnCl_2$) gelöst, die dazu verbrauchte Salzsäure (HCl) wird zurückgebildet und es wird Silber (Ag) abgeschieden, welches sich an der negativen (Silber-) Elektrode niederschlägt.

Erkl. 676. Aus nebenstehender Antwort geht hervor, dass in allen geschlossenen galvanischen Elementen an der positiven Elektrode ein Verbindungsvorgang und an der negativen Elektrode ein Zersetzungsvorgang stattfindet.

und Chromsäure wird in Wasser und Chromoxyd zersetzt [siehe Erkl. 675 unter 5).].

6). In dem Pincus-Element verbindet sich Zink mit dem Chlor der Salzsäure zu Chlorzink; der hierbei frei werdende Wasserstoff bildet mit dem Chlor des Chlorsilbers wieder Salzsäure, das Chlorsilber wird also zersetzt, und an der positiven (Silber-) Elektrode scheidet sich Silber ab [siehe Erkl. 675 unter 6). und Erkl. 676].

Frage 418. Wie lauten die elektrolytischen Gesetze, wenn dieselben auf die chemischen Vorgänge innerhalb der galvanischen Elemente angewendet werden?

Antwort. Die elektrolytischen Gesetze (siehe Antwort auf Frage 307) finden nicht nur Anwendung auf die Zersetzungen von Elektrolyten durch den elektrischen Strom, sondern auch auf die chemischen Vorgänge in den galvanischen Elementen. Diese Gesetze lauten:

für die Vorgänge in Elektrolyten (siehe Antwort auf Frage 307):

1). Durch ein und denselben elektrischen Strom werden äquivalente Mengen der Elektrolyte zersetzt.

für die chemischen Vorgänge in geschlossenen galvanischen Elementen:

1). Bei ein und demselben elektrischen Strom werden in galvanischen Elementen äquivalente Mengen von Metall und Flüssigkeiten chemisch verändert.

2). Die Gewichtsmengen der aus einem Elektrolyt durch Elektrolyse an den beiden Elektroden abgeschiedenen Produkte stehen im Verhältnis ihrer elektrolytischen Aequivalente (siehe Erkl. 475).

3). Die Gewichtsmengen eines durch den elektrischen Strom zersetzten Elektrolyts sind der Intensität dieses Stroms proportional.

2). Die Gewichtsmengen der in geschlossenen galvanischen Elementen am positiven und am negativen Pol auftretenden Produkte stehen im Verhältnis ihrer elektrolytischen Aequivalente.

3). Die Gewichtsmengen der in einem geschlossenen galvanischen Element auftretenden Produkte sind der Intensität des Stroms proportional.

Frage 419. Welche Beziehungen bestehen nach voriger Antwort zwischen den chemischen Vorgängen in den galvanischen Elementen und den chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms?

Erkl. 677. Nach nebenstehender Antwort kann man die Stromstärke aus den chemischen Vorgängen in den galvanischen Elementen berechnen.

Man kann hierbei z. B. den für eine bestimmte Stromstärke in einem Element erforderlichen Verbrauch an Zink zu Grunde legen (siehe Erkl. 678).

Erkl. 678. Die Stromstärke = 1 Knallgasvolumen-Einheit pro Minute scheidet in einer Minute 0,0596 mg Wasserstoff ab (siehe Erklärung 509). Da nun das elektrolytische Aequivalent des Wasserstoffs = 1, dasjenige des Zinks = 32,6 ist (siehe Antwort auf Frage 309), so hat man für die Zinkmenge m, welche in einem galvanischen Element in 1 Minute verbraucht wird, um während dieser Zeit eine Stromstärke = 1 Knallgasvolumen-Einheit zu liefern, die Relation:

$$m : 0{,}0596 = 32{,}6 : 1$$

mithin:

$$m = 1{,}94 \text{ mg Zink.}$$

Erkl. 679. Aus voriger Erklärung geht hervor, dass man die Stromstärke aus dem Zinkverbrauch berechnen kann.

Bezeichnet man die in einem galvanischen Element in 1 Minute verbrauchte und in Milligramm ausgedrückte Zinkmenge mit n, und soll aus diesem Zinkverbrauch die Stromstärke J in Knallgasvolumen-Einheiten angegeben werden, so hat man die Proportion:

$$n : 1{,}94 = \mathrm{J} : 1$$

mithin:

$$\mathrm{J} = \frac{n}{1{,}94} \text{ Knallgasvol.-Einheiten}$$

(siehe Erkl. 680).

Erkl. 680. Die Genauigkeit der in voriger Antwort erwähnten Bestimmung der Strom-

Antwort. Da die elektrolytischen Gesetze sowohl für die chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms, als auch für die chemischen Vorgänge in den stromerzeugenden galvanischen Elementen gelten, so müssen beide Vorgänge einander äquivalent sein, d. h.:

Ist eine Anzahl von Elementen zur Säule verbunden (d. h. hintereinander geschaltet), und wird durch den elektrischen Strom dieser Säule ein elektrolytischer Vorgang bewirkt (z. B. Wasser zersetzt, Kupfer oder Silber niedergeschlagen etc.), so wird in jedem einzelnen Element eine solche Menge an Bestandteilen chemisch verändert, welche der Menge der in derselben Zeit in der Zersetzungszelle abgeschiedenen Jonen äquivalent ist (siehe Erkl. 677).

stärke wird durch die sog. lokale Wirkung beeinträchtigt (siehe Erkl. 681).

Erkl. 681. Unter der lokalen (d. i. örtlichen) Wirkung in einem galvanischen Element versteht man einen chemischen Vorgang, welcher unabhängig von dem elektrischen Strom und selbst bei offenem Stromkreis stattfindet, bei welchem Zink aufgelöst wird. Diese lokale Wirkung wird zwar durch Amalgamieren des Zinks erheblich vermindert oder sogar beseitigt (siehe Erkl. 117), allein die Amalgamierung des Zinks muss von Zeit zu Zeit wiederholt und sehr sorgfältig ausgeführt werden (siehe Erkl. 119).

B). Ueber die Wärmeeffekte chemischer Vorgänge in galvanischen Elementen.

Frage 420. Was versteht man im allgemeinen unter dem Wärmeeffekt eines chemischen Vorgangs?

Antwort. Unter dem Wärmeeffekt eines chemischen Vorgangs versteht man im allgemeinen die Wärmemenge, welche bei dem betreffenden chemischen Vorgang erzeugt oder verbraucht wird (siehe Erkl. 682).

Erkl. 682. Effekt (vom latein. efficere = bewirken) heisst Wirkung.

Frage 421. In welchen Masseinheiten kann man die chemischen Wärmeeffekte ausdrücken?

Die Antwort ist durch Beispiele zu erläutern.

Antwort. Die chemischen Wärmeeffekte, d. h. die bei einem chemischen Vorgang erzeugte oder verbrauchte Wärmemenge kann man in Grammkalorien ausdrücken (siehe Erkl. 632), und zwar kann man z. B. den chemischen Wärmeeffekt

1). auf 1 Gramm des chemisch veränderten Körpers, oder

2). auf das in Gramm ausgedrückte Atomgewicht bezw. Molekulargewicht des chemisch veränderten Körpers beziehen (siehe die Erkl. 683—685).

Diese Bezeichnungsweisen kann man durch folgende Beispiele erläutern:

a). Löst man 1 g Zink in Schwefelsäure auf, so werden 1627 Grammkalorien erzeugt, d. h. also bei der Auflösung von 1 g Zink in Schwefelsäure wird eine Wärmemenge erzeugt, durch welche 1627 g Wasser um 1° Celsius erwärmt werden können.

Will man diese Wärmemenge in der oben unter 2). gewählten Masseinheit ausdrücken, so hat man, da das Atomgewicht des Zinks = 65,2 ist (siehe die

Erkl. 683. Bei jedem chemischen Verbindungsvorgang wird Wärme frei, bei jedem chemischen Zersetzungsvorgang wird Wärme gebunden oder verbraucht (siehe Erkl. 685).

Erkl. 684. Die Messung und Berechnung der bei chemischen Vorgängen erzeugten bezw. verbrauchten Wärmemengen findet man in Kleyers Encyklopädie in dem Lehrbuch der Wärme. Die Beziehungen chemischer Vorgänge zur Wärme bezeichnet man als die Thermochemie.

Erkl. 412—416 und Antw. auf Frage 309), die bei der Auflösung von 65,2 g Zink erzeugte Wärmemenge, d. i. 1627 . 65,2 = 106090 Grammkalorien zu nehmen (siehe Erkl. 632).

b). Bei der Abscheidung von 1 g Wasserstoff werden 34180 Grammkalorien verbraucht, d. h. es wird bei diesem Zersetzungsvorgang eine Wärmemenge gebunden, durch welche 34180 g Wasser um 1° Celsius erwärmt werden können.

Will man diese Wärmemenge in der oben unter 2). gewählten Masseinheit ausdrücken, so hat man, da 2 g Wasserstoff 65,2 g Zink äquivalent sind, die zur Abscheidung von 2 g Wasserstoff verbrauchte Wärmemenge, d. i. 2 . 34180 = 68360 Grammkalorien zu nehmen (siehe Erkl. 686).

Erkl. 685. Die bei einem Verbindungsvorgang erzeugte Wärme nennt man Verbindungswärme oder auch Lösungswärme; die bei einem Zersetzungsvorgang verbrauchte Wärme nennt man die Zersetzungswärme.

Erkl. 686. Aus Erkl. 675 unter 1). geht hervor, dass 1 Atom Zink (Zn) 2 Atomen Wasserstoff (H_2), also 65,2 g Zink 2 g Wasserstoff äquivalent ist.

Frage 422. Was versteht man unter dem Wärmeeffekt eines galvanischen Elements?

Antwort. Unter dem Wärmeeffekt eines galvanischen Elements versteht man die Summe der Wärmeeffekte sämtlicher chemischen Vorgänge in dem Element, wobei die bei den Verbindungsvorgängen erzeugten Wärmemengen als positive, die bei den Zersetzungsvorgängen verbrauchten Wärmemengen als negative Werte in Rechnung gezogen werden (siehe Erkl. 687).

Erkl. 687. Nach Erkl. 673 ist der Wärmeeffekt eines galvanischen Elements der chemischen Energie desselben proportional.

Frage 423. Welche Beziehung besteht zwischen dem Wärmeeffekt eines galvanischen Elements und der in dessen Stromkreis erzeugten Wärmemenge?

Antwort. Zwischen dem Wärmeeffekt eines galvanischen Elements und der gesamten Wärmemenge, welche in dem Stromkreis desselben erzeugt wird, besteht die Beziehung:

Die in einem Stromkreis erzeugte gesamte Wärmemenge ist gleich dem Wärmeeffekt des Elements (oder der Säule), welches dieser Stromkreis enthält (siehe die Erkl. 688 und 689).

Erkl. 688. Der in nebenstehender Antwort definierte Satz wurde von *Helmholtz* im Jahr 1847 zuerst angegeben.

Erkl. 689. Das in nebenstehender Antwort definierte Gesetz wurde von mehreren Forschern experimentell geprüft.

Nach *Thomsen* ist der Wärmeeffekt des Daniell-Elements bei der Auflösung von 65,2 g Zink (d. i. 1 Gramm-Molekul Zink) = 50130 Grammkalorien (siehe Erkl. 632), und die bei der Auflösung von 65,2 g Zink in dem Stromkreis erzeugte Wärmemenge ist nach den Untersuchungen von

Lenz	gleich	50330	Grammkalorien,
Thomsen	„	53200	„
		50290	„
Raoult	„	47800	„

Diese Werte für die erzeugte Wärmemenge stimmen somit sehr nahe mit dem für den Wärmeeffekt erhaltenen Wert überein.

Ausführliches über die experimentellen Bestätigungen des nebenstehend definierten Helmholtzschen Satzes findet man in Kleyers Encyklopädie in dem Lehrbuch der Wärme.

Frage 424. Welches sind die Wärmeeffekte der in Antwort auf Frage 417 erwähnten galvanischen Elemente?

Antwort. Die Wärmeeffekte einiger der bekanntesten galvanischen Elemente nach *J. Thomsen*s Untersuchungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Element (siehe Antwort auf Frage 417 und Erkl. 675)	+ Verbindungsprodukte — Zersetzungsprodukte	Bei der Auflösung von 65,2 g Zink wird erhalten: + Verbindungswärme — Zersetzungswärme in Grammkalorien	Wärmeeffekt in Grammkalorien
Volta oder Smee . . .	+ $ZnSO_4$ — H_2	+ 106090 — 68360	37730
Daniell	+ $ZnSO_4$ — Cu	+ 106090 — 55960	50130
Grove, Bunsen . . .	+ $ZnSO_4$ — N_2O_4	+ 106090 — 10010	96080
Bunsen (Chromsäure) .	+ $ZnSO_4$ — $^1/_3 Cr_2O_3$	+ 106090 — 6300	99790
Pincus (Chlorsilber) . .	+ $ZnCl_2$ — Ag_2	+ 112840 — 58760	54080

Erkl. 690. Nach Antwort auf Frage 309 ist das Molekular- bezw. Atomgewicht von

1). Zink (Zn) = 65,2;
2). Wasserstoff (H_2) = 2 . 1 = 2;
3). schwefelsaures Zink ($ZnSO_4$) = 65,2 + 32 + 4 . 16 = 161,2;
4). Kupfer (Cu) = 63,4;
5). Untersalpetersäure (N_2O_4) = 2 . 14 + 4 . 16 = 92;
6). $^1/_3$ Chromoxyd ($^1/_3 Cr_2O_3$) = $^1/_3$. 2 . 52,5 + $^1/_3$. 3 . 16 = 51 (siehe Erkl. 691);
7). 2 Silber (2 Ag) = 2 . 108 = 216 (siehe Erkl. 691).

Diese Zahlen haben folgende Bedeutung: Wird in einem Element 65,2 g Zink verbraucht, so wird gleichzeitig 161,2 schwefelsaures Zink gebildet und

im Volta- oder Smee-Element 2 g Wasserstoff,
„ Daniell-Element 63,4 g Kupfer,
„ Grove- oder Bunsen-Element 92 g Untersalpetersäure,
„ Chromsäure-Element 51 g Chromoxyd,
„ Chlorsilber-Elemement 216 g Silber

abgeschieden.

Die Wärmeeffekte der galvanischen Elemente werden nach Antw. auf Frage 421 auf das in Gramm ausgedrückte Molekular- (bezw. Atom-) Gewicht der in dem Element chemisch wirkenden Körper bezogen. Da bei den vorstehend erwähnten Elementen Zink verbraucht, d. h. gelöst wird, so bezieht man die Wärmeeffekte auf das in Gramm ausgedrückte Atomgewicht des Zinks, d. h. man gibt den Wärmeeffekt an, welcher mit dem betreffenden galvanischen Element bei einem Verbrauch von 65,2 g Zink erhalten wird.

Erkl. 691. Zu Erkl. 690 muss bemerkt werden, dass 1 Atom Zink 2 Atomen Wasserstoff oder 2 Atomen Silber äquivalent ist, und dass 1 Molekul Chromoxyd 3 Atomen Zink oder 6 Atomen Wasserstoff etc. äquivalent ist. Da die in nebenstehender Antw. erwähnten Wärmeeffekte auf das in Gramm ausgedrückte Atomgewicht des Zinks (auf 65,2 g Zink) bezogen sind, so hat man hiernach das demselben äquivalente doppelte Atomgewicht des Wasserstoffs bezw. Silbers und das demselben äquivalente Drittel-Atomgewicht des Chromoxyds in Rechnung zu ziehen. Ausführliches darüber findet man in Kleyers Encyklopädie in den Lehrbüchern der Experimental-Chemie und Stöchiometrie.

Frage 425. Welche Beziehung besteht zwischen der chemischen Energie eines galvanischen Elements und der elektromotorischen Kraft desselben, und wie kann man diese Beziehung ableiten?

Erkl. 692. Sollen die chemischen Energien bezw. die Wärmeeffekte verschiedener galvanischer Elemente zu den elektromotorischen Kräften der Elemente in Beziehung gebracht werden, so muss die Stromstärke in den Stromkreisen dieser Elemente gleichgross sein. Dies ergibt sich aus dem elektrolytischen Gesetz (siehe Antwort auf Frage 307), nach welchem die Mengen der in einem Element chemisch veränderten (sich verbindenden und zersetzenden) Körper der Stromstärke proportional sind. Um die Wärmeeffekte zweier Elemente miteinander vergleichen zu können, muss demnach in den Stromkreisen der beiden Elemente die gleiche Stromstärke herrschen, damit in gleichen Zeiten in den beiden zu vergleichenden Elementen äquivalente Mengen der chemischen Körper in die bezüglichen chemischen Prozesse eintreten.

Antwort. Die elektromotorische Kraft eines galvanischen Elements ist proportional der chemischen Energie des Elements.

Diese Beziehung kann man ableiten wie folgt:

Angenommen, es seien zwei galvanische Elemente gegeben, deren elektromotorische Kräfte verschieden sind. Beide Elemente bilden für sich je einen Stromkreis, und zwar soll die Stromstärke in beiden Stromkreisen gleichgross sein.

Bezeichnet man nun
mit E_1 und E_2 die elektromotorischen Kräfte dieser beiden Stromkreise,
mit W_1 und W_2 die Widerstände derselben,
mit J die Stromstärke in beiden Stromkreisen,
mit Q_1 und Q_2 die Wärmemengen, welche in den beiden Stromkreisen während ein und derselben Zeit erzeugt werden,

so bestehen nach dem Ohmschen Gesetz (siehe Antwort auf Frage 337) die Relationen:

$$\text{a).} \quad \ldots \quad J = \frac{E_1}{W_1}$$

und

$$\text{b).} \quad \ldots \quad J = \frac{E_2}{W_2}$$

und nach dem Jouleschen Gesetz (siehe Antwort auf Frage 397) die Relationen:

$$\text{c).} \quad \ldots \quad Q_1 = q\, W_1\, J^2$$

und

$$\text{d).} \quad \ldots \quad Q_2 = q\, W_2\, J^2$$

Aus den Gleichungen a). und b). ergibt sich:

Erkl. 693. In nachstehender Tabelle sind die in Antwort auf Frage 417 erwähnten galvanischen Elemente mit ihren von *Thomsen* experimentell bestimmten Wärmeeffekten pro 65,2 g Zinkverbrauch angegeben. Setzt man die elektromotorische Kraft des Daniell-Elements = 1, so erhält man nach nebenstehender Antwort die elektromotorische Kraft eines der angegebenen Elemente durch Anwendung von nebenstehender Gleichung:

$$E_1 : E_2 = C_1 : C_2$$

worin E_1 = der elektromotorischen Kraft eines Daniell-Elements, also = 1,

C_1 = 50130 Grammkalorien pro Gramm-Molekulargewicht,

E_2 = der elektromotorischen Kraft eines dieser Elemente,

C_2 = dem in nachstehender Tabelle angegebenen Wärmeeffekt (pro Molekulargewicht in Gramm) des betreffenden Elements ist.

So ist z. B. für die so berechnete elektromotorische Kraft des Pincus-Elements:

$$1 : E_2 = 50130 : 54080$$

mithin:

$$E_2 = \frac{54080}{50130} = 1{,}079 \text{ Daniell}$$

(siehe Spalte 3 in nachstehender Tabelle).

Bezügl. Spalte 5 siehe die Tabelle in Antwort auf Frage 390.

Durch die genügende Uebereinstimmung der in Spalte 3 angegebenen, aus den Wärmeeffekten (Spalte 2) berechneten Werte der elektromotorischen Kräfte mit den in Spalte 5 angegebenen anderweitig bestimmten Werten (siehe Antwort auf Frage 390) ist der nebenstehend definierte Satz experimentell bestätigt.

$$\frac{E_1}{W_1} = \frac{E_2}{W_2}$$

oder:

e). $\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$

und durch Division der Gleichungen c). und d). ergibt sich:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{q\,W_1\,J^2}{q\,W_2\,J^2}$$

oder:

f). $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{W_1}{W_2}$

Somit nach den Gleichungen e). und f). auch:

g). $\frac{E_1}{E_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$

d. h. die elektromotorischen Kräfte sind den in beiden Stromkreisen bei gleicher Stromstärke erzeugten Wärmemengen proportional.

Da nun die Wärmemengen Q_1 und Q_2 gleich sind den in den beiden Elementen während der Stromdauer erhaltenen Wärmeeffekten C_1 und C_2 der beiden Elemente (siehe Antwort auf Frage 423 und Erkl. 689), da also:

h). $\frac{E_1}{E_2} = \frac{C_1}{C_2}$

ist, und da ferner diese Wärmeeffekte den chemischen Energien der beiden Elemente proportional sind (siehe Erkl. 687), so sind die elektromotorischen Kräfte den bezüglichen chemischen Energien ebenfalls proportional, was zu beweisen war.

1 Element	2 Wärmeeffekt in Grammkalorien (pro Molekulargewicht in Gramm)	3 Chemische Energie, bezogen auf die des Daniell-Elements als Einheit	4 5 Elektromotorische Kraft Daniell-Einheiten	Volt
Smee	37730	0,753	0,73 =	0,8
Daniell	50130	1	1 =	1,124
Grove } Bunsen }	96080	1,717	1,75 =	1,96
Bunsen (Chromsäure) . .	99790	1,991	1,87 =	2,1
Pincus	54080	1,079	0,96 =	1,08

Anhang.

I. Gelöste Aufgaben.

I). Aufgaben über die Messung der Stromstärke.

A). Aufgaben über die Messung der Stromstärke mittels des Voltameters.

Anmerkung. Die Nummern der bei der Lösung der Aufgaben angewendeten Formeln beziehen sich auf das Formelnverzeichnis am Schlusse dieses Lehrbuchs. Im letzteren findet man für jede dieser Formeln den Hinweis auf die Stelle dieses Lehrbuchs, an welcher die betreffende Formel entwickelt ist.

Aufgabe 1. Wieviel Kupfereinheiten beträgt die Stromstärke, welche in einem Kupfervoltameter in 35 Minuten 1470 Milligramm Kupfer niederschlägt?

Auflösung. Betrachtet man nach Antwort auf Frage 325 unter 5). die Stromstärke, welche in 1 Minute 1 Milligramm Kupfer niederschlägt, als Kupfereinheit der Stromstärke, so ist die Stromstärke, welche in 35 Minuten 1 Milligramm Kupfer niederschlägt, gleich $\frac{1}{35}$ dieser Einheiten, und hieraus ergibt sich die Stromstärke, welche in 35 Minuten 1470 Milligramm Kupfer niederschlägt, gleich $\frac{1470}{35}$ oder gleich 42 Kupfereinheiten.

Aufgabe 2. Die in voriger Aufgabe erwähnte Stromstärke soll in

a). Wasserstoff-Einheiten,
b). Wasser- „
c). Silber- „
d). Knallgas- „
e). Ampère

ausgedrückt werden.

Auflösung. Da die elektrolytischen Aequivalente von

Wasserstoff	=	1
Wasser	=	9
Silber	=	108
Kupfer	=	31,7

(siehe Antw. auf Frage 326)

und da nach Antwort auf Frage 307 die Gewichtsmengen der durch ein und denselben elektrischen Strom in gleichen Zeiten abgeschiedenen Zersetzungsprodukte sich verhalten wie die elektrolytischen Aequivalente, so hat man für die in voriger Aufgabe erwähnte Stromstärke von 42 Kupfereinheiten die Relationen:

a). . . . $J : 42 = 1 : 31,7$

mithin:

$$J = \frac{42}{41,7} = 1,32 \text{ Wasserstoff-Einh.}$$

Erkl. 694. Die in nebenstehender Auflösung berechneten Werte der Stromstärke kann man nach Erkl. 509 aus Spalte 4 der dort angegebenen Tabelle wie folgt berechnen:

a). $J = 42 \,.\, 0{,}0315 = 1{,}32$ Wasserstoff-Einh.
b). $J = 42 \,.\, 0{,}284 = 11{,}92$ Wasser-Einheiten
c). $J = 42 \,.\, 3{,}406 = 143{,}1$ Silber-Einheiten
d). $J = 42 \,.\, 0{,}529 = 22{,}2$ Knallgas-Einh.
e). $J = 42 \,.\, 0{,}0508 = 2{,}13$ Ampère.

b). . . . $J : 42 = 9 : 31{,}7$

mithin:
$$J = \frac{42 \,.\, 9}{31{,}7} = 11{,}92 \text{ Wassereinheiten}$$

c). . . . $J : 42 = 108 : 31{,}7$

mithin:
$$J = \frac{42 \,.\, 108}{31{,}7} = 143{,}1 \text{ Silbereinheiten}$$

d). Da 1 Kubikcentimeter Knallgas bei 760 Millimeter Barometerstand und 0° Cels. 0,5363 Milligramm wiegt, und die Stromstärke $J = \frac{42 \,.\, 9}{31{,}7}$ Wassereinh. ist, so besteht die Relation:
$$J = \frac{42 \,.\, 9}{31{,}7} = 1 : 0{,}5363$$
mithin:
$$J = \frac{42 \,.\, 9}{31{,}7 \,.\, 0{,}5363} = 22{,}2 \text{ Knallgas-Einheiten}$$

e). Da die Stromstärke von 1 Ampère 19,68 Milligramm Kupfer in der Minute abscheidet, so besteht die Relation:
$$J : 42 = 1 : 19{,}68$$
mithin:
$$J = \frac{42}{19{,}68} = 2{,}13 \text{ Ampère.}$$

Aufgabe 3. In einen Stromkreis ist ein Gewichtswasservoltameter und ein Silbervoltameter eingeschaltet. Nach einer bestimmten Zeit wird der Strom unterbrochen und das Gewicht des zersetzten Wassers zu 10 mg durch Wägung bestimmt (siehe Antwort auf Frage 330). Wieviel Silber wurde somit an der Katode des Silbervoltameters gleichzeitig niedergeschlagen?

Auflösung. Nach voriger Aufgabe hat man für die Berechnung äquivalenter Gewichtsmengen Wasser und Silber die Proportion:
$$9 \text{ Wasser} : 108 \text{ Silber} = 10 \text{ Wasser} : x \text{ Silber}$$
$$x = \frac{108 \,.\, 10}{9} = 120 \text{ mg Silber.}$$

Aufgabe 4. Wieviel Kupfer würde ein elektrischer Strom in einem Kupfervoltameter in einer bestimmten Zeit niedergeschlagen haben, wenn derselbe in der gleichen Zeit in einem Knallgasvoltameter 20 kcm Knallgas bei 0° Celsius und 760 mm Barometerstand entwickelt, und wenn die elektromotorische Kraft und der Gesamtwiderstand des Stromkreises in beiden Fällen genau gleich gross ist?

Erkl. 695. Das in voriger Auflösung erhaltene Resultat ergibt sich auch aus Spalte 5 der in Erkl. 509 angegebenen Tabelle zu:
$$x = 20 \,.\, 1{,}89$$
oder: $= 3{,}78$ mm Kupfer.

Auflösung. Da 1 kcm Knallgas bei 760 mm Barometerstand und 0° C. 0,5363 mg wiegt, so wiegen 20 kcm Knallgas 20 . 0,5363, das ist 1,0726 mg.

Zur Berechnung der Kupfermenge x, welche ein elektrischer Strom von gleicher Stärke in der gleichen Zeit niedergeschlagen haben würde, besteht somit nach Auflösung der Aufgabe 2 die Proportion:
$$9 \text{ mg Knallgas} : 31{,}7 \text{ mg Kupfer} = 1{,}0726 : x$$
mithin:
$$x = \frac{31{,}7 \,.\, 1{,}0726}{9}$$
d. i.: $x = 3{,}78$ mg Kupfer.

Aufgabe 5. Wie lange muss ein elektrischer Strom von 2 Ampère Intensität auf ein Silbervoltameter einwirken, um an der Katode desselben 1200 mg Silber niederzuschlagen?

Auflösung. Nach Spalte 6 der in Erkl. 509 angegebenen Tabelle schlägt ein elektrischer Strom von 1 Ampère Intensität in 1 Minute 67,08 mg Silber nieder, somit in n Minuten $n \,.\, 67{,}08$ mg Silber, folglich ein elektrischer Strom von 2 Ampère Intensität $2\, n \,.\, 67{,}08$ mg Silber.

Da nun dieser Strom 1200 mg Silber niederschlagen soll, so besteht zur Berechnung der dazu erforderlichen Zeit die Relation:

$$1200 = 2 \,.\, n \,.\, 67{,}08$$

somit:

$$n = \frac{1200}{2 \,.\, 67{,}08} \text{ Minuten}$$

oder:

$$n = \frac{1200}{2 \,.\, 67{,}08} \cdot 60 \text{ Sekunden}$$

d. i.: $n = 537$ Sekunden

oder $= 8$ Minuten 57 Sekunden.

Aufgabe 6. In den Stromkreis einer galvanischen Säule wurde ein Knallgasvoltameter eingeschaltet.

Der Stromkreis wurde genau $n = 12$ Minuten lang geschlossen,

das Volumen V_t des in dem Messcylinder des Voltameters angesammelten Knallgases wurde zu 40 kcm abgelesen,

die Temperatur t der Umgebung des Voltameters und Barometers betrug 18° Celsius,

der Barometerstand b_t betrug 754 mm,

als Absperrflüssigkeit wurde 20procentige Schwefelsäure, also vom spez. Gewicht $s = 1{,}14$ verwendet,

die Höhe H der Flüssigkeitssäule AB (siehe Figur 174) war 100 mm.

Welches war die Stromstärke in Knallgas-Einheiten in diesem Stromkreis während der Messung?

Auflösung. Nach Antwort auf Frage 327 zerlege man die Berechnung der Stromstärke mittels der nach der Aufgabe gefundenen Werte, in folgende 4 Teile:

1). In die Korrektion des während der Messung herrschenden Barometerstands:

Formel 6 . . . $b_0 = b_t - 0{,}135\, t$

2). In die Berechnung des Druckes, unter welchem das abgeschiedene Knallgas steht:

Formel 7 . . . $h = b_0 - H \cdot \frac{s}{13{,}6} - f$

3). In die Reduktion des Volumens des abgeschiedenen Knallgases auf 760 mm Barometerstand und 0° C.:

Formel 8 . . . $V_0 = \frac{0_t}{1 + 0{,}00367\, t} \cdot \frac{h}{760}$

4). In die Berechnung der Stromstärke in Knallgaseinheiten pro Minute aus dem Volumen des in der angewendeten Zeit abgeschiedenen Knallgases:

Formel 9 . . $V = \frac{V_0}{n}$

Setzt man in Formel 6:

$$b_t = 754$$
$$t = 18$$

so erhält man für den korrigierten Barometerstand:

$$b_0 = 754 - 0{,}135 \,.\, 18$$

mithin: $b_0 = 751{,}6$ mm

Setzt man in Formel 7:

$$b_0 = 751{,}6$$
$$H = 100$$

$$s = 1{,}14$$
$$f = 15{,}3 \,.\, 9 \text{ (siehe Erkl. 521 u. 522)}$$

so erhält man für den Druck, unter welchem das abgeschiedene Knallgas steht:

$$h = 751{,}6 - 100 \cdot \frac{1{,}14}{13{,}6} - 15{,}3 \,.\, 0{,}9$$

mithin: $h = 729{,}4$ mm

Setzt man in Formel 8:

$$V_t = 40$$
$$t = 18$$
$$h = 729{,}4$$

so erhält man für das auf 760 mm Barometerstand und 0° C. reduzierte Volumen des abgeschiedenen Knallgases:

$$V_0 = \frac{40}{1 + 0{,}00367 \,.\, 18} \cdot \frac{729{,}4}{760}$$

mithin:

$$V_0 = 36 \text{ kcm Knallgas.}$$

Setzt man in Formel 9:

$$V_0 = 36$$
$$n = 12$$

so erhält man für das Volumen des in 1 Minute abgeschiedenen Knallgases:

$$V_0 = \frac{36}{12}$$

mithin: $V = 3$ kcm Knallgas pro Minute.

Die gemessene Stromstärke ist somit gleich 3 Knallgaseinheiten.

Aufgabe 7. Die vorige Aufgabe soll nach der Kohlrausch schen Methode gelöst werden (siehe Erkl. 696).

Erkl. 696. Aufgabe 6 ist nach Erkl. 527 mittels des abgekürzten Kohlrausch schen Rechnungsverfahrens lösbar, weil die bei der betreffenden Messung verwendete Schwefelsäure das specifische Gewicht 1,14 hat (siehe Antw. auf Frage 328).

Auflösung. Nach Antwort auf Frage 328 hat man zur Berechnung des Druckes h, unter welchem das abgeschiedene Knallgas in dem Messcylinder steht, die Gleichung:

$$h = b_t - \frac{1}{12} H$$

somit ist in Rücksicht auf die in Aufgabe 6 angegebenen Werte von b_t und H:

$$h = 754 - \frac{1}{12} \cdot 100$$
$$= 745{,}7 \text{ Millimeter.}$$

Nun hat man aus der in Erkl. 530 angegebenen Tabelle den Korrektionswert für 18° C. wie folgt zu bestimmen:

Korrektionswert für 740 mm $= +30$
„ „ 750 mm $= 45$
Differenz dieser Korrektionswerte $= 15$
Differenz der Korrektionswerte für 1 mm zwischen 740 und 750 mm $= 1{,}5$
somit annähernder Korrektionswert für 5,7 (6) mm $= 1{,}5 \,.\, 6$
oder $= 9{,}0$
somit Korrektionswert für $745{,}7 = 30 + 9$
oder $= 39$ Tausendstel Kubikcentimeter.

Man hat somit dem abgelesenen Volumen $V_t = 40$ kcm den Korrektionswert $+ 0{,}039 . 40 = 1{,}560$ hinzuzufügen, und erhält das auf 20° Celsius und $h = 725$ mm reduzierte Volumen Knallgas zu 41,6 Kubikcentimeter, welche der elektrische Strom in 12 Minuten abgeschieden hatte. Derselbe schied sonach in 1 Sekunde $\frac{41{,}6}{12 . 60} = 0{,}058$ kcm Knallgas (bei 20° C. und $h = 725$ mm) ab, und hat somit eine Stromstärke von $0{,}058 . 5 = 0{,}29$ Ampère.

Nach Spalte 6 der in Erkl. 509 angegebenen Tabelle scheidet der Strom von 0,29 Ampère in 1 Minute bei 760 mm Barometerstand und 0° Celsius $10{,}44 . 0{,}29 = 3{,}0$ kcm Knallgas ab, was mit dem in voriger Auflösung erhaltenen Resultat übereinstimmt.

Aufgabe 8. In den Stromkreis einer galvanischen Säule wurde einer der in den Antworten auf die Fragen 162 und 278 unter 1). bis 3). beschriebenen Voltameter eingeschaltet. Das Voltameter war mit 20prozentiger Schwefelsäure (also vom spezifischen Gewicht = 1,14) gefüllt.

Nach $n = 20$ Minuten wurde der Stromkreis geöffnet,

das Volumen des durch den elektrischen Strom abgeschiedenen Wasserstoffs zu 120 kcm abgelesen,

der Barometerstand b_t betrug während der Messung 740 mm,

die Temperatur t der Umgebung war 22° Celsius,

die Höhe H der Flüssigkeitssäule in dem Messcylinder war 20 mm.

Wieviel Knallgas-Einheiten betrug die Stromstärke während der Messung?

Auflösung. Nach Antwort auf Frage 329 multipliziert man das Wasserstoffvolumen mit $\frac{3}{2}$ und erhält somit:

$$V_t = \frac{3}{2} \cdot 120 = 180 \text{ kcm Knallgas}$$

welche der elektrische Strom unter den in der Aufgabe angegebenen Verhältnissen in 20 Minuten abscheidet.

Nach Aufgabe 6 hat man zur Korrektion des während der Messung herrschenden Barometerstands:

Formel 6 . . $b_0 = b_t - 0{,}135 . t$

Nach der Aufgabe ist:

$$b_t = 740$$
$$t = 22$$

somit:

$$b_0 = 740 - 0{,}135 . 22$$

oder $= 740 - 2{,}97$

oder (annähernd) $= 737$ mm.

Zur Berechnung des Drucks, unter welchem das abgeschiedene Wasserstoffgas steht, hat man:

Formel 7 . . $h = b_0 - H \cdot \frac{s}{13{,}6} - f$

Nach der Aufgabe ist:

$$b_0 = 737$$
$$H = 20$$
$$s = 1{,}14$$
$$f = 19{,}6 . 0{,}9 \quad \text{(s. Erkl. 521 u. 522)}$$

somit ist:

$$h = 737 - 20 \cdot \frac{1{,}14}{13{,}6} - 19{,}6 . 0{,}9$$

oder:

$$h = 737 - 1{,}68 - 17{,}64$$

oder:

$$h = 717{,}7 \text{ mm.}$$

Zur Reduktion des aus dem abgeschiedenen Wasserstoff berechneten Volumens Knallgas hat man:

Formel 8 . . $V_0 = \frac{V_t}{1+0{,}00367 . t} \cdot \frac{h}{760}$

Nach obigem ist:

$$V_t = 180$$
$$h = 717{,}7$$
$$t = 22$$

somit ist:

$$V_0 = \frac{180}{1+0{,}00367 . 22} \cdot \frac{717{,}7}{760}$$

oder:

$V_0 = 157$ Kubikcentimeter.

Zur Berechnung der Stromstärke in Knallgas-Einheiten hat man:

Formel 9 . . . $V = \frac{V_0}{n}$

da

$$V_0 = 157$$
$$n = 20$$
$$V = \frac{157}{20}$$

oder:

$V = 7{,}8$ Knallgas-Einh. pro Minute (siehe Antw. auf Frage 326).

Aufgabe 9. Die vorige Aufgabe soll nach *Kohlrauschs* Methode gelöst werden.

Auflösung. Setzt man in

Formel 10 . . $h = b_t - \frac{1}{12} H$

der Aufgabe 8 entsprechend:

$$b_t = 740$$
$$H = 20$$

so hat man:

$$h = 740 - \frac{1}{12} 20$$

oder $= 738{,}3$

Nach Erkl. 530 hat man ferner bei $t = 22^0$ C.:

für 730 mm den Korrektionswert $= -3$

„ 740 „ „ „ $= +11$

Differenz dieser beiden Korrektionswerte $= +14$

und somit Korrektionswert für 1 mm zwischen 730 und 740 mm $= 1{,}4$

somit Korrektionswert für 8,3 $= 1{,}4 . 8{,}3$

oder $= 11{,}6$

somit Korrektionswert für 738,3 $= -3 + 11{,}6$

oder $= 8{,}6$ Tausendstel Kubikcentimeter.

Man hat somit dem aus dem abgelesenen Volumen Wasserstoff berechneten Volumen Knallgas $V_t = 180$ kcm den Korrektionswert $0{,}0086 . 180 = 1{,}5$ kcm hinzuzufügen und erhält alsdann das auf 20^0 C. und $h = 725$ mm reduzierte Volumen Knallgas zu 181,5 kcm, welche der elektrische Strom in 20 Minuten abgeschieden hatte. Derselbe schied somit in 1 Sekunde $\frac{181{,}5}{20 . 60} = 0{,}151$ kcm Knallgas bei 20^0 C. und $h = 725$ mm ab, und hat somit eine Stromstärke von

$$0{,}151 . 5 = 0{,}755 \text{ Ampère.}$$

Nach Spalte 6 der in Erkl. 509 angegebenen Tabelle scheidet der elektrische Strom von 0,755 Ampère in 1 Minute bei 0° Celsius und 760 mm Barometerstand 10,44 . 0,755 = 7,8 kcm ab, was mit dem in voriger Auflösung erhaltenen Resultat übereinstimmt.

Aufgabe 10. Ein Knallgas-Voltameter (siehe Figur 173) wurde in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet. Nach 10 Minuten wurde der Stromkreis geöffnet, der Messcylinder wurde alsdann in der in Erkl. 524 beschriebenen Weise derart in ein tieferes Absperrgefäss gesetzt, dass der Flüssigkeitsspiegel in demselben genau die gleiche Höhe hatte, wie die Flüssigkeit des tiefen Gefässes.

Alsdann wurde das Volumen V_t des durch den elektrischen Strom abgeschiedenen Knallgases zu 150 kcm abgelesen,

der Barometerstand war während der Messung $b_t = 750$ mm,

die Temperatur der Umgebung betrug $t = 18^0$ Celsius,

als Absperrflüssigkeit diente Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht $s = 1{,}20$.

Welche Stromstärke in Knallgas-Einheiten herrschte während der Messung in dem Stromkreis?

Auflösung. Setzt man in:

Formel 6 . . . $b_0 = b_t - 0{,}135\,t$

der Aufgabe entsprechend:

$$b_t = 750$$
$$t = 18$$

so erhält man:

$$b_0 = 750 - 0{,}135 \,.\, 18$$

oder: $b_0 = 747{,}6$ mm

Setzt man nun in:

Formel 7 . . $h = b_0 - \frac{H \,.\, s}{13{,}6} - f$

nach den Erkl. 521 und 522:

$$f = 0{,}8 \,.\, 15{,}3$$

und der Aufgabe entsprechend:

$$H = 0 \quad \text{(siehe Erkl. 524)}$$

so ist auch:

$$\frac{H \,.\, s}{13{,}6} = 0$$

und man erhält:

$$h = 747{,}6 - 0{,}8 \,.\, 15{,}3$$

oder: $h = 735{,}4$

Setzt man ferner in:

Formel 8 . . $V_0 = \frac{V_t}{1 + 0{,}00367 \,.\, t} \cdot \frac{h}{760}$

der Aufgabe und Obigem entsprechend:

$$V_t = 150$$
$$t = 18$$
$$h = 735{,}4$$

so erhält man:

$$V_0 = \frac{150}{1 + 0{,}00367 \,.\, 18} \cdot \frac{735{,}4}{760}$$

mithin:

$$V_0 = 136$$

Somit erhält man nach:

Formel 9 $V = \frac{V_0}{n}$

da nach der Aufgabe $n = 10$ ist:

$$V = \frac{136}{10}$$

oder: $V = 13{,}6$

mithin war die Stromstärke während der Messung gleich 13,6 Knallgaseinheiten.

Aufgabe 11. In den Stromkreis eines Rheomotors wurde ein Knallgasvoltameter eingeschaltet, dessen Messcylinder und pneumatische Wanne (siehe Fig. 174) mit Quecksilber gefüllt war.

Der Stromkreis wurde $n = 15$ Minuten lang geschlossen,

das Volumen V_t des in dem Messcylinder abgeschiedenen Knallgases wurde zu 90 kcm abgelesen,

die Temperatur t der Umgebung des Voltameters und Barometers betrug 20° Celsius,

der Barometerstand b_t betrug während der Messung 750 mm,

die Höhe H der Quecksilbersäule AB (siehe Figur 174) war 30 mm.

Welches war die Stromstärke in Knallgas-Einheiten in diesem Stromkreis während der Messung? (siehe Erkl. 697).

Erkl. 697. Bei der Auflösung dieser Aufgabe ist Erkl. 523 zu beachten.

Auflösung. Setzt man in:

Formel 6 . . $b_0 = b_t - 0{,}135\, t$

der Aufgabe entsprechend:

$$b_t = 750$$
$$t = 20$$

so hat man für den korrigierten Barometerstan d

$$b_0 = 750 - 0{,}135 \,.\, 20$$

oder: $b_0 = 747{,}3$ mm

Setzt man nun in:

Formel 7a . . $h = b_0 - H$ (siehe Erkl. 523)

$$b_0 = 747{,}3$$
$$H = 30$$

so hat man für den Druck, unter welchem das abgeschiedene Knallgas steht:

$$h = 747{,}3 - 30$$

oder: $= 717{,}3$ mm

Setzt man ferner in:

Formel 8 . . $V_0 = \frac{V_t}{1 + 0{,}00367 \,.\, t} \cdot \frac{h}{760}$

$$V_t = 90$$
$$h = 717{,}3$$
$$t = 20$$

so hat man für das auf 760 mm Barometerstand und 0° C. reduzierte Volumen Knallgas:

$$V_0 = \frac{90}{1 + 0{,}00367 \,.\, 20} \cdot \frac{717{,}3}{760}$$

oder: $= 79{,}1$ kcm

Setzt man in:

Formel 9 $V = \frac{V_0}{n}$

$$V_0 = 79.1$$
$$n = 15$$

so hat man für die Stromstärke, welche während der Messung in dem Stromkreis herrschte:

$$V_0 = \frac{79{,}1}{15}$$

oder: $V_0 = 5{,}27$ Knallgas-Einheiten pro Minute.

Aufgabe 12. Welches würde das Volumen des abgeschiedenen Knallgases bei der der vorigen Aufgabe zu grunde liegenden Messung gewesen sein, wenn man, wie in Erkl. 524 angegeben, den Messcylinder in einer solchen Höhe in der pneumatischen Wanne befestigt hätte, dass der Quecksilberspiegel in dem Messcylinder genau die gleiche Höhe gehabt hätte, wie der Quecksilberspiegel in der pneumatischen Wanne?

Auflösung. Nach der Aufgabe soll V_t berechnet werden, für die Bedingung, dass die Höhe der Quecksilbersäule in dem Messcylinder gleich 0, dass also:

$$H = 0 \text{ ist.}$$

Unter dieser Bedingung geht also:

Formel 7a $h = b_0 - H$

über in: $h = b_0$

Setzt man diesen Wert von h in:

Formel 8 . . $V_0 = \frac{V_t}{1 + 0{,}00367 \cdot t} \cdot \frac{h}{760}$

ein, und berücksichtigt man, dass nach Aufgabe 11:

$$V_0 = 79{,}1$$
$$t = 20$$
$$b_0 = 747{,}3$$

ist, so geht Formel 8 über in:

$$79{,}1 = \frac{V_t}{1 + 0{,}00367 \cdot 20} \cdot \frac{747{,}3}{760}$$

und hieraus erhält man zur Berechnung des Volumens, welches das Knallgas in dem Messcylinder besitzt, wenn H = 0 ist, die Formel:

$$V_t = \frac{79{,}1\,(1 + 0{,}00367 \cdot 20) \cdot 760}{747{,}3}$$

oder: $= 86{,}3$ Kubikcentimeter.

Aufgabe 13. Der Glaskörper eines Gewichts-Voltameters von Ledingham wog 65,2465 g. Nachdem das Voltameter während 3 Minuten 20 Sekunden in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet war, betrug das Gewicht des Glaskörpers 64,6235 g. Welche Stromstärke herrschte während dieser Messung in dem Stromkreis? (siehe Erkl. 698).

Erkl. 698. Betreffs der Ausführung der der Aufgabe zu grunde liegenden Messung beachte man die in Antwort auf Frage 330 gegebenen Vorschriften.

Auflösung. Das Gewicht des in 3 Minuten 20 Sekunden durch den elektriscaen Strom in dem Voltameter zersetzten Wassers ist gleich:

$$\begin{array}{r} 65{,}2465 \\ -\,64{,}6235 \\ \hline 0{,}6230 \text{ g} \end{array}$$

oder gleich 623 mg. Somit zersetzte der elektrische Strom in 1 Sekunde $\frac{623}{200}$ mg Wasser, od. in 1 Minute $\frac{623}{200} \cdot 60$, d. i. 186,9 mg Wasser.

Die Stromstärke, welche während der Messung in dem Stromkreis herrschte, war somit gleich 186,9 Wasser-Einheiten pro Minute.

Aufgabe 14. Der gereinigte Platinkegel eines Silbervoltameters (siehe Figur 177 oder 178) wog 42,8365 g. Nachdem das Voltameter während genau 10 Minuten in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet war, wog der Platinkegel 44,6275 g. Welche Stromstärke in Silbereinheiten herrschte während der Messung in dem Stromkreis? (siehe Erkl. 699).

Erkl. 699. Betreffs der Ausführung der der Aufgabe zu grunde liegenden Messung beachte man die in Antwort auf Frage 331 gegebenen Vorschriften.

Auflösung. Das Gewicht des in genau 10 Minuten durch den elektrischen Strom an dem Platinkegel des Silbervoltameters niedergeschlagenen Silbers ist gleich:

$$\begin{array}{r} 44{,}6275 \\ -\,42{,}8365 \\ \hline 1{,}7910 \text{ g} \end{array}$$

oder gleich 1791 mg. Somit schlug der elektrische Strom in 1 Minute $\frac{1791}{10} = 179{,}1$ mg Silber nieder.

Die während der Messung in dem Stromkreis herrschende Stromstärke war somit gleich 179,1 Silbereinheiten pro Minute.

Aufgabe 15. Die Platinplatte eines Kupfervoltameters wog 56,8745 g. Nachdem das Voltameter während genau 25 Minuten in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet war, wog die Platinplatte 58,2975 g. Welche Stromstärke in Kupfereinheiten herrschte während der Messung in dem Stromkreis? (siehe Erkl. 700).

Erkl. 700. Betreffs der Ausführung der der vorstehenden Aufgabe zu Grunde liegenden Messung beachte man die in Antwort auf Frage 332 gegebenen Vorschriften.

Auflösung. Das Gewicht des in genau 25 Minuten durch den elektrischen Strom abgeschiedenen Kupfers beträgt:

$$\begin{array}{r} 58{,}2975 \\ -\,56{,}8745 \\ \hline 1{,}4230\text{ g} \end{array}$$

oder 1423 mg, somit das Gewicht des in 1 Minute abgeschiedenen Kupfers $\frac{1423}{25}$ oder 56,9 mg.

Die Stromstärke, welche während der Messung in dem Stromkreis herrschte, ist somit gleich 56,9 Kupfereinheiten pro Minute.

B). Aufgaben über die Messung der Stromstärke mittels der Tangentenbussole.

Aufgabe 16. In den Stromkreis einer konstanten galvanischen Säule wurde eine Tangentenbussole und ein Knallgasvoltameter während 10 Minuten eingeschaltet. Das in dem Voltameter während diesen 10 Minuten abgeschiedene und nach Antwort auf Frage 327 berechnete Knallgasvolumen betrug 155,2 kcm. Der von Minute zu Minute abgelesene Ablenkungswinkel der Magnetnadel der Bussole war 42° 53′, 42° 50′, 42° 48′, 42° 46′, 42° 40′, 42° 32′, 42° 25′, 42° 12′, 42° 3′, 41° 99′, 41° 97′. Welches ist der Reduktionsfaktor dieser Tangentenbussole für Knallgaseinheiten? (s. Erkl. 701).

Erkl. 701. Betreffs des Reduktionsfaktors ist Erkl. 553 zu beachten.

Hilfsrechnung 1.

Zur Berechnung des arithmetischen Mittels (siehe Erkl. 554) der abgelesenen Ablenkungswinkel addiert man dieselben, und dividiert die Summe durch deren Anzahl wie folgt:

$$\begin{array}{rl} & 42^0\,53' \\ & 42^0\,50' \\ & 42^0\,48' \\ & 42^0\,46' \\ & 42^0\,40' \\ & 42^0\,32' \\ & 42^0\,25' \\ & 42^0\,12' \\ & 42^0\;\;3' \\ & 41^0\,99' \\ & 41^0\,97' \\ \hline \text{Summe} = & 460^0\,505' \\ \text{oder:} & 460 + 8^0\,25' \\ \text{„}\;\cdot & 468^0\,25' \end{array}$$

Diese Summe durch die Anzahl der Ablesungen, also durch 10 dividiert, ergibt:

Auflösung. Die durchschnittliche Ablenkung der Magnetnadel der Bussole beträgt 42° 35,3′ (siehe nebenstehende Hilfsrechnung 1).

Da der elektrische Strom in 10 Minuten 155,2 kcm Knallgas abschied, so ist die Stromstärke, welche während der Messung in dem Stromkreis herrschte, gleich $\frac{155{,}2}{10}$ oder gleich 15,52 Knallgaseinheiten.

Setzt man nun in:

Formel 14 $x = \frac{J}{\text{tg}\,\alpha}$

$J = 15{,}52$

$\alpha = 42^0\,35{,}3'$

so hat man zur Berechnung des gesuchten Reduktionsfaktors die Gleichung:

$$x = \frac{15{,}52}{\text{tg}\,42^0\,35{,}3'}$$

mithin ist der Reduktionsfaktor dieser Tangentenbussole für Knallgaseinheiten:

$x = 16{,}88$ (s. nebenst. Hilfsrechn. 2).

42,55° und 2,3′
oder: 42° 35,3′
als arithmetisches Mittel des während der Messung beobachteten Ablenkungswinkels (siehe Erkl. 702).

Erkl. 702. Um 0,55° in Minuten auszudrücken, hat man, in Rücksicht, dass 1° = 60′ ist, die Proportion:

$$x' : 60' = 0{,}55^\circ : 1^\circ$$

woraus sich: $x = 33{,}0'$ ergibt.

Hilfsrechnung 2.

$$\log x = \log 15{,}52 - \log \operatorname{tg} 42^\circ\, 35{,}3'$$

Nun ist: $\log \operatorname{tg} 42^\circ\, 35' = 9{,}96332-10$
$0{,}3' = 8$
$\log \operatorname{tg} 42^\circ\, 35{,}3' = 9{,}96340-10$
$\log 15{,}52 = 1{,}19089$
$-9{,}96340+10$
$\text{num} \log 1{,}22749 = 16{,}88$

Aufgabe 17. Welches sind die Reduktionsfaktoren der Tangentenbussole, welche bei der in voriger Aufgabe erwähnten Messung verwendet wurde, für die sämtlichen in Antwort auf Frage 325 aufgeführten Masseinheiten der Stromstärke?

Auflösung. Nach voriger Auflösung ist der Reduktionsfaktor der betr. Tangentenbussole für Knallgaseinheiten gleich 16,88.

Da nun nach Antwort auf Frage 326 1 kcm Knallgas 0,5363 mg wiegt, d. h. also 0,5363 Wassereinheiten entspricht, so hat man zur Berechnung des Reduktionsfaktors x_w für Wassereinheiten aus demjenigen für Knallgaseinheiten die Proportion:

$$x_w : 16{,}88 = 0{,}5363 : 1$$

woraus sich:

$$x_w = 16{,}88 \,.\, 0{,}5363 \text{ ergibt.}$$

In gleicher Weise ergeben sich die Reduktionsfaktoren (siehe Spalte 5 der Tabelle in Erkl. 509):

für Wasserstoffeinheiten zu:

$$x_n = 16{,}88 \,.\, 0{,}0596$$

für Silbereinheiten:

$$x_s = 16{,}88 \,.\, 6{,}44$$

für Kupfereinheiten:

$$x_k = 16{,}88 \,.\, 1{,}89$$

für Ampère:

$$x_a = 16{,}88 \,.\, 0{,}0958$$

Aufgabe 18. Welchen Ablenkungswinkel bringt eine Stromstärke von 7 Knallgaseinheiten an der Magnetnadel der in Aufgabe 16 erwähnten Tangentenbussole hervor?

Auflösung. Setzt man in:

Formel 15 $J = x \,.\, \operatorname{tg} \alpha$

$J = 7$

$x = 16{,}88$ (s. Auflös. d. Aufg. 16)

so hat man:

$$7 = 16.88 \,.\, \operatorname{tg} \alpha$$

Erkl. 703. Betreffs der Berechnung der Winkel aus den gegebenen Tangens derselben findet man ausführliches in dieser Encyklopädie in Kleyers Lehrbüchern der Goniometrie und Trigonometrie.

woraus sich:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{7}{16{,}88}$$

oder: $= 0{,}4147$ ergibt

und hieraus erhält man:

$$\alpha = 22^0\,30' \text{ (siehe Erkl. 703).}$$

Aufgabe 19. Welchen Ablenkungswinkel bringt eine Stromstärke von 100 Silbereinheiten an der in Aufgabe 16 erwähnten Tangentenbussole hervor?

Auflösung 1. Setzt man in:

Formel 15 $J = x \,.\, \operatorname{tg}\alpha$

den in Auflösung der Aufgabe 17 erhaltenen Wert des Reduktionsfaktors dieser Tangentenbussole für Silbereinheiten:

$$x_s = 16{,}88 \,.\, 6{,}44$$

so hat man:

$$100 = 16{,}88 \,.\, 6{,}44 \,.\, \operatorname{tg}\alpha$$

somit:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{100}{16{,}88 \,.\, 6{,}44}$$

woraus sich der gesuchte Ablenkungswinkel:

$$\alpha = 42^0\,36' \text{ (siehe Hilfsrechn. 1)}$$

ergibt.

Auflösung 2. Nach der Tabelle in Erkl. 509 ist 1 Silbereinheit äquivalent 0,155 Knallgaseinheiten. Somit ist die in der Aufgabe erwähnte Stromstärke von 100 Silbereinheiten = 15,5 Knallgaseinheiten. Der Reduktionsfaktor der betreffenden Tangentenbussole für Knallgaseinheiten ist nach Auflösung der Aufgabe 16 gleich 16,88. Somit hat man, wenn man in

Formel 15 $J = x \,.\, \operatorname{tg}\alpha$

$$J = 15{,}5$$
$$x = 16{,}88$$

einsetzt:

$$15{,}5 = 16{,}88 \,.\, \operatorname{tg}\alpha$$

woraus:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{15{,}5}{16{,}88}$$

und hieraus ergibt sich:

$$\alpha = 42^0\,33'$$

(siehe nebenstehende Hilfsrechn. 2 und Erkl. 704)

Hilfsrechnung 1.

Für nebenstehende Gleichung:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{100}{16{,}88 \,.\, 6{,}44}$$

ist:

$$\log \operatorname{tg}\alpha = \log 100 - (\log 16{,}88 + \log 6{,}44)$$

$$\log 100 = 2{,}00000$$

$$\begin{aligned} \log 16{,}88 &= 1{,}22737 \\ \log 6{,}44 &= 0{,}70889 \\ \hline & 2{,}03626 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &2{,}00000 \\ &-2{,}03626 \\ \hline \log \operatorname{tg}\alpha = &\ 9{,}96374-10 \\ \text{mithin: } \alpha = &\ 42^0\,36' \end{aligned}$$

Hilfsrechnung 2.

$$\log \operatorname{tg}\alpha = \log 15{,}5 - \log 16{,}88$$

$$\begin{aligned} \log 15{,}5 &= 1{,}19033 \\ -\log 16{,}88 &= -1{,}22737 \\ \hline \log \operatorname{tg}\alpha &= 9{,}96296-10 \end{aligned}$$

der hierzu gehörige Winkel

$$\alpha = 42^0\,33'$$

Erkl. 704. Der Wert des Winkels α differiert nach nebenstehenden beiden Auflösungen um etwa 3′. Diese Differenz ist begründet durch die Abrundung der Werte der Tabelle in Erkl. 509, und der in der Auflösung der Aufgabe 16 berechneten Reduktionsfaktoren. Dieselbe kommt jedoch bei Anwendung der in diesem Lehrbuch beschriebenen Tangentenbussole nicht in Betracht, da man an Letzterer bei den gebräuchlichen Konstruktionen die Ablenkungswinkel nur auf etwa $^1/_4{}^0$ genau ablesen kann.

Aufgabe 20. Die in Aufgabe 16 erwähnte Tangentenbussole wurde nebst einem Stromregulator in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet. Die Stromstärke wurde nun durch Veränderung des eingeschalteten Widerstandes des Stromregulators mehrfach verändert, und die den hierdurch veränderten Stromstärken entsprechenden Ablenkungswinkel der Magnetnadel der Tangentenbussole zu

$$\alpha_1 = 23^1/_2{}^0$$
$$\alpha_2 = 24^0$$
$$\alpha_3 = 45^0$$
$$\alpha_4 = 45^1/_2{}^0$$

abgelesen. Welches sind die bezüglichen Stromstärken J_1, J_2, J_3, J_4 in Knallgaseinheiten und in Ampère?

Hilfsrechnung.

$$\log 16{,}88 = 1{,}22737$$
$$\log \operatorname{tg} 23^0 30' = 9{,}63830-10$$
$$\log J_1 = 0{,}86567$$

mithin: $J_1 = 7{,}34$

$$\log 16{,}88 = 1{,}22737$$
$$\log \operatorname{tg} 24^0 = 9{,}64858-10$$
$$\log J_2 = 0{,}87595$$

mithin: $J_2 = 7{,}52$

$$\log 16{,}88 = 1{,}22737$$
$$\log \operatorname{tg} 45^0 30' = 0{,}00758$$
$$\log J_4 = 1{,}23495$$

mithin: $J_4 = 17{,}17$

J_3 ergibt sich, da $\log 45^0 = 1$, ohne weitere Rechnung $= 16{,}88$ (siehe Auflösung der Aufgabe 16.)

Auflösung. Setzt man in:

Formel 15 $J = x \,.\, \operatorname{tg} \alpha$

entsprechend der Auflösung der Aufgabe 16:

$$x = 16{,}88$$

und entsprechend nebenstehender Aufgabe der Reihe nach:

$$\alpha_1 = 23^1/_2{}^0$$
$$\alpha_2 = 24^0$$
$$\alpha_3 = 45^0$$
$$\alpha_4 = 45^1/_2{}^0$$

so erhält man für die 4 gesuchten bezüglichen Stromstärken die Bestimmungsgleichungen:

$$J_1 = 16{,}88 \operatorname{tg} 23^0 30'$$
$$J_2 = 16{,}88 \operatorname{tg} 24^0$$
$$J_3 = 16{,}88 \operatorname{tg} 45^0$$
$$J_4 = 16{,}88 \operatorname{tg} 45^0 30'$$

und hieraus erhält man:

$J_1 = 7{,}34$ Knallgaseinheiten
$J_2 = 7{,}52$ „
$J_3 = 16{,}88$ „
$J_4 = 17{,}17$ „
(siehe Hilfsrechn.)

Um diese Stromstärken in Ampère auszudrücken, kann man entweder nach Auflösung der Aufgabe 17:

$$x_a = 16{,}88 \,.\, 0{,}0958$$

setzen, und die Stromstärken mittels Formel 15:

$$J = x_a \,.\, \operatorname{tg} \alpha$$

bestimmen, oder man kann die obigen in Knallgaseinheiten ausgedrückten Stromstärken mit 0,0958 multiplizieren (siehe Spalte 5 der Tabelle in Erkl. 509).

Man erhält hiernach:

$J_1 = 7{,}34 \,.\, 0{,}0958$ oder $= 0{,}703$ Ampère
$J_2 = 7{,}52 \,.\, 0{,}0058$ „ $= 0{,}791$ „
$J_3 = 16{,}88 \,.\, 0{,}0958$ „ $= 1{,}617$ „
$J_4 = 17{,}17 \,.\, 0{,}0958$ „ $= 1{,}645$ „

Aufgabe 21. Welchen Reduktionsfaktor für Knallgaseinheiten besitzt eine Tangentenbussole, deren Magnetnadel durch einen elektrischen Strom, welcher in 10 Minuten 750 mg Kupfer niederschlägt, um 35⁰ abgelenkt wird?

Auflösung. Nebenstehende Aufgabe hat man wie folgt in drei Teile zu zerlegen:

1). Welches ist die Stromstärke in Kupfereinheiten?

2). Welches ist die Stromstärke in Knallgaseinheiten?

3). Welchem Reduktionsfaktor für Knallgaseinheiten entspricht ein Ablenkungswinkel von 35⁰ für diese Stromstärke?

Zur Berechnung der Stromstärke J in Kupfereinheiten aus der in n Minuten niedergeschlagenen Kupfermenge m hat man die Relation:

Hilfsrechnung.

$\log x = \log 9 + \log 75 - (\log 31{,}7 + \log 0{,}5363 + \log \operatorname{tg} 35^0)$

$$\begin{aligned} \log 9 &= 0{,}95424 \\ \log 75 &= 1{,}87506 \\ \hline & \quad 2{,}82930 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log 31{,}7 &= 1{,}50106 \\ \log 0{,}5363 &= 9{,}72941-10 \\ \log \operatorname{tg} 35^0 &= 9{,}84523-10 \\ \hline & \quad 1{,}07570 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 2{,}82930 \\ & -1{,}07570 \\ \hline \text{num} \log\ & 1{,}75360 = 56{,}7 \end{aligned}$$

$$J = \frac{m}{n}$$

Da nun nach der Aufgabe:

$$m = 750$$
$$n = 10$$

ist, so ist:

$$J = \frac{750}{10}$$

oder: $J = 75$ Kupfereinheiten.

Um diese Stromstärke J in Knallgaseinheiten auszudrücken, hat man in Rücksicht, dass nach Antwort auf Frage 326 31,7 mg Kupfer 9 mg Knallgas entsprechen, dass somit 1 mg Kupfer $\frac{9}{31{,}7}$ mg Knallgas, also:

$$75 \text{ mg Kupfer } \frac{9 \cdot 75}{31{,}7} \text{ mg Knallgas}$$

entspricht, in Rücksicht ferner, dass 0,5363 mg Knallgas ein Volumen von 1 kcm bei 760 mm Barometerstand und 0^0 C. besitzt, somit 1 mg Knallgas ein Volumen von

$$\frac{1}{0{,}5363} \text{ kcm}$$

somit $\frac{9 \cdot 75}{31{,}7}$ mg Knallgas ein Volumen von

$$\frac{9 \cdot 75}{31{,}7} \cdot \frac{1}{0{,}5363} \text{ kcm}$$

besitzen, die Relation:

$$J = \frac{9 \cdot 75}{31{,}7 \cdot 0{,}5353} \text{ Knallgas-Einheiten.}$$

Setzt man nun in

Formel 14 $x = \frac{J}{\operatorname{tg} \alpha}$

für J den obigen Wert und der Aufgabe entsprechend: $\alpha = 35$, so hat man für den gesuchten Reduktionswert:

$$x = \frac{9 \cdot 75}{31{,}7 \cdot 0{,}5363 \cdot \operatorname{tg} 35^0}$$

oder: $x = 56{,}7$ (siehe nebenst. Hilfsrechn.)

Aufgabe 22. Eine Tangentenbussole wurde in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet, und eine Ablenkung der Bussolennadel von 14^0 erhalten. Welchen Ablenkungswinkel bringt ein elektrischer Strom an der Nadel dieser Tangentenbussole hervor, dessen Stromstärke 1,5 mal bezw. 2 mal bezw. 3 mal so gross ist als diejenige der erwähnten Säule?

Auflösung. Setzt man in:

Formel 12 $J : J_1 = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} \alpha_1$

der Aufgabe entsprechend die Stromstärke J, welche dem Ablenkungswinkel:

$$\alpha = 14^0$$

entspricht:

$$J = 1$$

und der Reihe nach:

$$J_1' = 1{,}5$$
$$J_1'' = 2$$
$$J_1''' = 3$$

so erhält man für die gesuchten Ablenkungswinkel x_1, x_2 und x_3 die Proportionen:

$$1).\quad 1:7,5 = \text{tg}\,14^0 : \text{tg}\,x_1$$
$$2).\quad 1:2 = \text{tg}\,14^0 : \text{tg}\,x_2$$
$$3).\quad 1:4 = \text{tg}\,14^0 : \text{tg}\,x_3$$

woraus sich die bezügl. Bestimmungsgleichungen:

$$\text{tg}\,x_1 = 1,5\,.\,\text{tg}\,14^0$$
$$\text{tg}\,x_2 = 2\,.\,\text{tg}\,14^0$$
$$\text{tg}\,x_3 = 3\,.\,\text{tg}\,14^0$$

ergeben.

Da nun:

$$\text{tg}\,14^0 = 0,24933$$

ist, so erhält man:

$$\text{tg}\,x_1 = 1,5\,.\,0,24933$$
$$\text{tg}\,x_2 = 2\,.\,0,24933$$
$$\text{tg}\,x_3 = 3\,.\,0,24933$$

oder:

$$\text{tg}\,x_1 = 0,37399$$
$$\text{tg}\,x_2 = 0,49866$$
$$\text{tg}\,x_3 = 0,74799$$

und hieraus ergibt sich:

$$x_1 = 20^0\,30'$$
$$x_2 = 26^0\,30'$$
$$x_3 = 36^0\,50'$$

Aufgabe 23. Welche Stromstärke J_1 bringt an der in voriger Aufgabe erwähnten Tangentenbussole den Ablenkungswinkel von 45^0 hervor, wenn die dort erwähnte Stromstärke J, welche einen Ablenkungswinkel von 14^0 hervorbringt, als Einheit der Stromstärke betrachtet wird?

Auflösung. Setzt man in

Formel 12 $J : J_1 = \text{tg}\,\alpha : \text{tg}\,\alpha_1$

der Aufgabe entsprechend:

$$J = 1$$
$$\alpha = 14^0$$
$$\alpha_1 = 45^0$$

so hat man:

$$1 : J_1 = \text{tg}\,14^0 : \text{tg}\,45^0$$

oder, da $\text{tg}\,45^0 = 1$

und $\text{tg}\,14^0 = 0,24933$

auch

$$1 : J_1 = 0,24933 : 1$$

woraus sich:

$$J_1 = \frac{1}{0,24933}$$

oder:

$J_1 = 4,011$ der gewählten Einheiten

ergibt.

2). Aufgaben über das Ohmsche Gesetz.

Aufgabe 24. Zwei galvanische Elemente von gleicher elektromotorischer Kraft befinden sich jedes für sich in einem besonderen Stromkreis. Die mittels einer Tangentenbussole gemessene Stromstärke in dem Stromkreis ist 17,5 mal so gross als die Stromstärke in dem Stromkreis des zweiten Elements. In welchem Verhältnis steht der Widerstand des ersten Stromkreises zu dem des zweiten Stromkreises?

Auflösung. Nimmt man die Stromstärke im zweiten Stromkreis als Einheit der Stromstärke an, so ist die Stromstärke im ersten Stromkreis gleich 17,5 dieser Einheiten. Setzt man dementsprechend in:

Formel 16ª $J : J_1 = W_1 E : W E_1$

$$J = 15{,}7$$
$$J_1 = 1$$

und der Aufgabe entsprechend:

$$E = E_1$$

so hat man:

$$15{,}7 : 1 = W_1 : W$$

woraus sich der Widerstand des ersten Stromkreises zu:

$$W = \frac{W_1}{15{,}7}$$

ergibt.

Der Widerstand des ersten Stromkreises beträgt somit $\frac{1}{15{,}7}$ des Widerstandes des zweiten Stromkreises.

Aufgabe 25. Der gesamte Widerstand eines Stromkreises beträgt 9 Ohm, die elektromotorische Kraft des in demselben enthaltenen galvanischen Elements ist gleich 1,2 Voll. Wie gross ist die Stromstärke in Ampère in diesem Stromkreis? (s. Erkl. 705).

Erkl. 705. Die Relationen zwischen den in der Aufgabe angegebenen Einheiten der elektromotorischen Kraft, des Widerstandes und der Stromstärke findet man in Antwort auf Frage 380.

Auflösung. Setzt man in:

Formel 16 $J = \frac{E}{W}$

$$E = 1{,}2 \text{ Volt}$$
$$W = 9 \text{ Ohm}$$

so erhält man für die Stromstärke:

$$J = \frac{1{,}2}{9}$$

oder: $J = 0{,}13$ Ampère.

Aufgabe 26. Ein galvanisches Element, dessen wesentlicher Widerstand gleich w, und dessen elektromotorische Kraft gleich ε ist, befindet sich in einem Stromkreis vom äusseren Widerstand r. Welches ist die Stromstärke J in diesem Stromkreis und welches ist die Stromstärke J_1 in diesem Stromkreis, wenn der äussere Widerstand verdoppelt wird?

Auflösung. Die Stromstärke J ist nach:

Formel 17 $J = \frac{E}{w + r}$

Setzt man in dieser Formel $2r$ statt r, so erhält man für die Stromstärke J_1:

$$J_1 = \frac{E}{w + 2r}$$

Setzt man, da es sich hier um die Vergleichung zweier Stromstärken im Stromkreis eines und desselben Elements handelt, die elektromotorische Kraft E dieses Elements gleich 1, so erhält man für die beiden Stromstärken die Relationen:

$$J = \frac{1}{w + r}$$

und:

$$J_1 = \frac{1}{w + 2r}$$

Aufgabe 27. Ein galvanisches Element, dessen wesentlicher Widerstand gleich 3 Siemens-Einheiten ist, wird durch einen Kupferdraht, dessen Widerstand gleich 2 Siemens-Einheiten ist, geschlossen, alsdann wird ein weiterer Kupferdraht in diesen Stromkreis eingeschaltet, dessen Widerstand gleich 6 Siemens-Einheiten ist. In welchem Verhältnis stehen die beiden Stromstärken dieses Stromkreises zueinander?

Auflösung. Bezeichnet man die beiden Stromstärken mit J und J_1, und nimmt man die elektromotorische Kraft des Elements als Einheit der elektromotorischen Kraft an, so hat man nach Formel 17 für die beiden Stromstärken die Bestimmungsgleichungen:

$$J = \frac{1}{3+2}$$

und

$$J_1 = \frac{1}{3+2+6}$$

oder:

$$J = \frac{1}{5}$$

oder: $J = 0{,}2$ Einheiten,

und $J_1 = \frac{1}{11}$

oder: $J_1 = 0{,}091$ Einheiten.

Aufgabe 28. Die Stromstärke J in dem in voriger Aufgabe erwähnten ersten Stromkreis wurde mittels einer Tangentenbussole, deren Widerstand so gering war, dass er vernachlässigt werden konnte, zu 1,5 Knallgas-Einheiten gemessen. Wieviel Knallgas-Einheiten beträgt die dort erwähnte zweite Stromstärke?

Auflösung. Nach voriger Auflösung ist
$J = 0{,}2$ der dort gewählten Einheiten
und $J_1 = 0{,}091$ " " " "
somit besteht für diese beiden Stromstärken die Proportion:

$$J : J_1 = 0{,}2 : 0{,}091$$

Da nun nach der Aufgabe

$J = 1{,}5$ Knallgas-Einheiten

ist, so hat man zur Berechnung von J_1 in Knallgas-Einheiten die Proportion:

$$1{,}5 : J_1 = 0{,}2 : 0{,}091$$

woraus sich:

$$J_1 = \frac{1{,}5 \,.\, 0{,}091}{0{,}2}$$

oder:

$= 0{,}6825$ Knallgas-Einheiten

ergibt.

Aufgabe 29. Welches ist die elektromotorische Kraft in Daniell-Einheiten oder in Volt des in Aufgabe 27 und 28 erwähnten galvanischen Elements?

Auflösung. Nach Aufgabe 26 und 27 gibt das galvanische Element bei einem wesentlichen Widerstand von 3 und einem äusseren Widerstand von 2, also bei einem Gesamtwiderstand von 5 Siemens-Einheiten eine Stromstärke von 1,5 Knallgas-Einheiten.

Da nun 1 Siemens-Einheit gleich 0,943 Ohm ist (siehe Antwort auf Frage 359 und Erkl. 577), so ist 5 SE $= 5 \,.\, 0{,}943$ oder $= 4{,}715$ Ohm.

Da ferner die Stromstärke von 1 Knallgas-Einheit gleich 0,0958 Ampère ist (s. Erkl. 509), so ist die Stromstärke von 1,5 Knallgas-Einheiten $= 1{,}5 \,.\, 0{,}0956$ oder $= 0{,}1434$ Ampère.

Setzt man nun in

Formel 16 $J = \frac{E}{W}$

$$J = 0{,}1434 \text{ Ampère},$$
$$W = 4{,}715 \text{ Ohm},$$

also:

$$0{,}1434 = \frac{E}{4{,}715}$$

so erhält man für die elektromotorische Kraft des galvanischen Elements:

$$E = 0{,}1434 \,.\, 4{,}715$$

oder:

$$E = 0{,}676 \text{ Volt},$$

oder, da 1 Volt gleich 0,89 Daniell (siehe Antwort auf Frage 379):

$$E = 0{,}89 \,.\, 0{,}676$$

oder:

$$= 0{,}6 \text{ Daniell}.$$

Aufgabe 30. Die elektromotorische Kraft E, der wesentliche Widerstand w und die Stromstärke J in einem Stromkreis seien bekannt. Wie kann man hieraus den äusseren Widerstand r dieses Stromkreises berechnen?

Auflösung. Ordnet man

Formel 17 $J = \frac{E}{w + r}$

nach der Unbekannten r, so erhält man:

$$rJ + wJ = E$$

woraus sich für den gesuchten äusseren Widerstand:

$$r = \frac{E - wJ}{J}$$

ergibt.

Aufgabe 31. Wie gross ist in voriger Aufgabe der äussere Widerstand in Ohm, wenn die Stromstärke gleich 7 Ampère, die elektromotorische Kraft gleich 1,8 Volt und der wesentliche Widerstand gleich 0,3 Ohm ist?

Erkl. 706. Die höchste theoretisch mögliche Stromstärke ist bei einer elektromotorischen Kraft von 1,8 Volt und 0,3 Ohm wesentlichem Widerstand:

$$J = \frac{1{,}8}{0{,}3}$$

oder: $J = 6$ Ampère,

wobei jedoch vorausgesetzt ist, dass der äussere Widerstand in dem Stromkreis gleich 0 sei, was nur annähernd erreicht werden kann, indem man diesen äusseren Widerstand durch Anwendung eines die beiden Pole verbindenden sehr dicken und möglichst kurzen Metalldrahts möglichst klein wählt.

Auflösung. Setzt man in der in voriger Auflösung für r erhaltenen Bestimmungsgleichung:

$$J = 7 \text{ Ampère},$$
$$E = 1{,}8 \text{ Volt},$$
$$w = 0{,}3 \text{ Ohm},$$

so erhält man:

$$r = \frac{1{,}8 - 0{,}3 \,.\, 7}{7}$$

r wird also negativ, d. h.: Das in der Aufgabe definierte Rheomotor kann die angegebene Stromstärke von 7 Ampère nicht hervorbringen (siehe Erkl. 706).

Aufgabe 32. Welches ist der äussere Widerstand r_1 eines Stromkreises A, welcher eine Säule von n galvanischen Elementen enthält, deren jedes die elektromotorische Kraft e und den wesentlichen Widerstand w besitzt, wenn die Stromstärke in diesem Stromkreis die gleiche sein soll, wie in einem Stromkreis B vom äusseren Widerstand r, welcher ein einziges solches Element enthält?

Auflösung. Für die Stromstärke im Stromkreis A besteht nach Formel 18 die Relation:

$$J = \frac{ne}{nw + r_1}$$

und für die Stromstärke im Stromkreis B die Relation:

Formel 17 . . . $J = \frac{e}{w + r}$

Da nun diese beiden Stromstärken nach der Aufgabe einander gleich sein sollen, so ist:

$$\frac{e}{w+r} = \frac{n\,e}{n\,w + r_1}$$

oder:

$$\frac{1}{w+r} = \frac{n}{n\,w + r_1}$$

oder:

$$n\,w + r_1 = n\,w + n\,r$$

und hieraus erhält man für den gesuchten äusseren Widerstand:

$$r_1 = w + n\,r$$

oder: $$r_1 = n\,r$$

Aufgabe 33. Es sind zwei Stromkreise A und B gegeben. Der eine A enthält eine Säule aus n galvanischen Elementen, deren jedes die elektromotorische Kraft e und den wesentlichen Widerstand w besitzt, der äussere Widerstand besteht aus zwei Teilen r und a. Der zweite Stromkreis B enthält nur ein gleiches Element, und der äussere Widerstand besteht ebenfalls aus zwei Teilen r_1 und a. Welche Grösse muss der Teil r_1 des äusseren Widerstands des zweiten Stromkreises haben, damit in beiden Stromkreisen die Stromstärke gleich ist?

Auflösung. Setzt man in

Formel 17 . . . $J = \dfrac{E}{w+r}$

der Aufgabe entsprechend:

$$E = e$$

und $$r = r + a$$

so erhält man für die Stromstärke J im Stromkreis A die Relation:

a). $J = \dfrac{e}{w + r + a}$

Setzt man in

Formel 18 . . . $J = \dfrac{n\,e}{n\,w + r}$

$$r = r_1 + a$$

so erhält man für die Stromstärke J im Stromkreis B die Relation:

b). $J = \dfrac{n\,e}{nw + r_1 + a}$

Da nun diese beiden Stromstärken nach der Aufgabe einander gleich sein sollen, so ist nach den Gleichungen a). und b).:

$$\frac{e}{w + r + a} = \frac{n\,e}{nw + r_1 + a}$$

oder:

$$\frac{1}{w + r + a} = \frac{n}{nw + r_1 + a}$$

oder:

$$nw + r_1 + a = nw + nr + na$$

und hieraus ergibt sich für den gesuchten Widerstand r_1 die Bestimmungsgleichung:

$$r_1 = nr + na - a$$

oder: $$r_1 = nr + a\,(n - 1)$$

Aufgabe 34. Ein rechteckiges Gefäss H aus Holz oder Glas, siehe Figur 233, ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, und in dem Gefässe stehen eine Kupferplatte K und eine Zinkplatte Z, so dass das Ganze ein Voltasches Becherelement bildet (siehe Antwort auf Frage 45). Das Element wird in einen Stromkreis vom äusseren Widerstand r

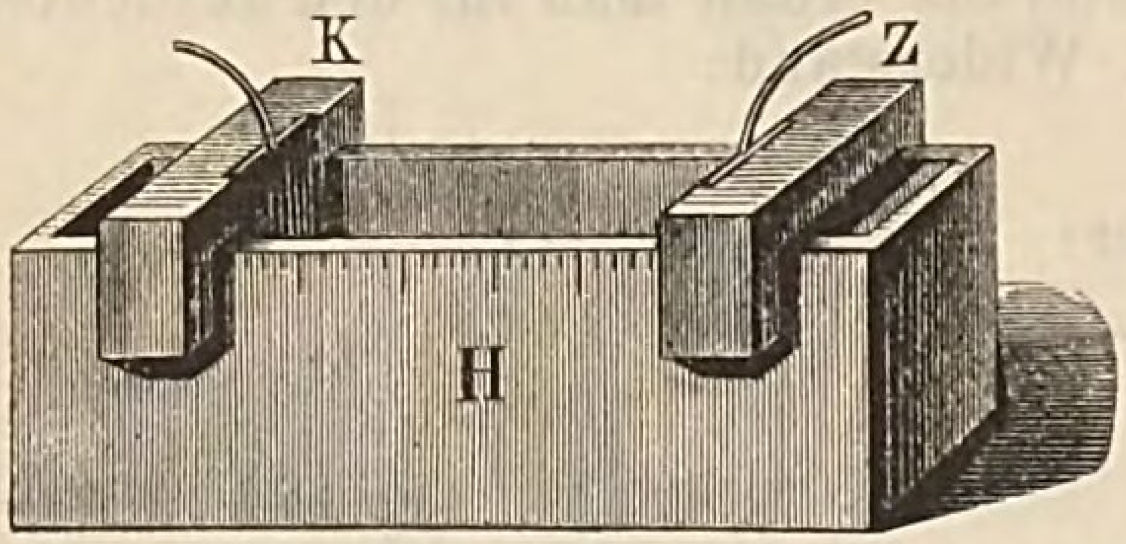
Auflösung. Für die Stromstärke J besteht die Relation:

Formel 17 . . . $J = \dfrac{E}{w+r}$

Da der wesentliche Widerstand dem Abstand

eingeschaltet, und bei einem bestimmten Abstand zwischen beiden Platten, wobei der wesentliche Widerstand gleich w ist, die Stromstärke gleich J gefunden. Welches ist alsdann die Stromstärke J_1 in diesem Stromkreis, wenn der Abstand zwischen den beiden Platten amal vergrössert wird.

Figur 233.



der Platten proportional ist [siehe Antwort auf Frage 193 unter 1).], und somit der wesentliche Widerstand bei einer afachen Vergrösserung der Platten gleich aw ist, so besteht für die Stromstärke J_1 die Relation:

$$J_1 = \frac{E}{aw + r}$$

Aufgabe 35. Welches ist die Stromstärke J_2 in dem in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreis, wenn der ursprüngliche Abstand der beiden Platten amal verkleinert wird?

Auflösung. Da der wesentliche Widerstand bei einer afachen Verkleinerung des Abstands afach kleiner, also gleich $\frac{w}{a}$ wird, so ist nach Formel 17 die Stromstärke J_2 bestimmt durch die Gleichung:

$$J_2 = \frac{E}{\frac{w}{a} + r}$$

Aufgabe 36. Welches ist die Stromstärke J_3 in dem in Aufgabe 34 beschriebenen Stromkreis, wenn die Platten afach verkleinert werden, und der ursprüngliche Abstand zwischen denselben beibehalten wird?

Auflösung. Da nach Antwort auf Frage 193 unter 2). der wesentliche Widerstand dem Querschnitt des Elements (siehe Erkl. 557) umgekehrt proportional, somit bei einer afachen Verkleinerung der Platten gleich aw ist, so hat man nach Formel 17 für die Stromstärke J_3 die Relation:

$$J_3 = \frac{E}{aw + r}$$

Aufgabe 37. Welches ist die Stromstärke J_4 in dem in Aufgabe 34 beschriebenen Stromkreis, wenn die Platten afach vergrössert werden, und der ursprüngliche Abstand zwischen denselben beibehalten wird?

Auflösung. Da nach Antwort auf Frage 193 unter 2). der wesentliche Widerstand bei einer afachen Vergrösserung der Platten gleich $\frac{w}{a}$ wird, so hat man nach Formel 17 für die Stromstärke J_4 die Relation:

$$J_4 = \frac{E}{\frac{w}{a} + r} \quad \text{(siehe Erkl. 707).}$$

Erkl. 707. Nach den Auflösungen der Aufgaben 34—37 hat man für die in diesen Aufgaben gesuchten 5 Stromstärken die Relationen:

$$J = \frac{E}{w + r}$$

$$J_1 = \frac{E}{aw + r} \quad (a\text{fache Vergrösserung des Abstands der Platten})$$

$$J_2 = \frac{E}{\frac{w}{a} + r} \quad (a\text{fache Verkleinerung des Abstands der Platten})$$

$$J_3 = \frac{E}{aw + r} \text{ (}a\text{fache Vergrösserung der Platten)}$$

$$J_4 = \frac{E}{\frac{w}{a} + r} \text{ (}a\text{fache Verkleinerung der Platten).}$$

Aus der Vergleichung dieser Gleichungen ergibt sich, dass die Stromstärke die gleiche wird, wenn man den Abstand der Platten a fach vergrössert bezw. verkleinert, oder wenn man die Oberfläche der Platten (den Querschnitt des Elements) a fach vergrössert bezw. verkleinert.

Aufgabe 38. Welches sind die Stromstärken J_5, J_6, J_7 bezw. J_8 des in Aufg. 34 beschriebenen Stromkreises:

1). Wenn der ursprüngliche Abstand zwischen den Platten afach vergrössert, und gleichzeitig die Platten afach vergrössert werden?

2). Wenn der ursprüngliche Abstand zwischen den Platten afach vergrössert und gleichzeitig die Platten afach verkleinert werden?

3). Wenn der ursprüngliche Abstand zwischen den Platten afach verkleinert und die Platten gleichzeitig afach vergrössert werden?

4). Wenn der ursprüngliche Abstand zwischen den Platten afach verkleinert und die Platten gleichzeitig a fach verkleinert werden?

Auflösung. Nach den Auflösungen der Aufgaben 34—37 wird der wesentliche Widerstand in dem in der Aufgabe unter 1). bezeichneten Fall infolge der afachen Vergrösserung des Abstands gleich aw, und infolge der afachen Vergrösserung der Platten gleich $\frac{w}{a}$; der wesentliche Widerstand bleibt also in diesem Fall unverändert gleich w, und die Stromstärke J_5 ist gleich der Stromstärke J (siehe Auflösung der Aufgabe 34), mithin ist:

$$J_5 = \frac{E}{w + r}$$

In dem in der Aufgabe unter 2). bezeichneten Fall wird der ursprüngliche wesentliche Widerstand durch afache Vergrösserung des Abstands der Platten afach vergrössert und durch afache Verkleinerung der Platten ebenfalls afach vergrössert Der wesentliche Widerstand wird somit in diesem Fall gleich $a \,.\, aw$ oder gleich $a^2 w$. Somit ergibt sich nun eine Stromstärke J_6 aus Formel 17 zu:

$$J_6 = \frac{E}{a^2 w + r}$$

In dem in der Aufgabe unter 3). bezeichneten Fall wird der wesentliche Widerstand durch afache Verkleinerung des Abstands der Platten afach verkleinert, durch die gleichzeitige afache Vergrösserung der Platten ebenfalls afach verkleinert, somit wird der wesentliche Widerstand in diesem Fall gleich $\frac{w}{a \,.\, a}$, mithin ergibt sich nun aus Formel 17 eine Stromstärke von

$$J_7 = \frac{E}{\frac{w}{a^2} + r}$$

In dem in der Aufgabe unter 4). bezeichneten Fall wird der wesentliche Widerstand durch afache Verkleinerung des Abstands der Platten afach verkleinert, durch gleichzeitige afache Verkleinerung der Platten dagegen afach vergrössert. Der wesentliche Widerstand bleibt somit gleich w, und die

Stromstärke J_8 ist in diesem Falle gleich J (siehe Aufgabe 34), also:

$$J_8 = \frac{E}{w+r}$$

Aufgabe 39. Ein galvanisches Element, dessen wesentlicher Widerstand gleich w, wird durch einen Leiter vom äusseren Widerstand r geschlossen, und die Stromstärke in diesem Stromkreis gleich J bestimmt. Ein zweites galvanisches Element, dessen elektromotorische Kraft gleich der des ersten ist, welches jedoch amal grösser ist, als das erste, soll, wenn es durch den gleichen Leiter geschlossen wird, wie das erste, die gleiche Stromstärke bewirken. Welches muss der wesentliche Widerstand w_1 dieses zweiten Elements sein?

Erkl. 708. Das nebenstehend erhaltene Resultat ergibt sich auch nach Erkl. 707.

Auflösung. Für die Stromstärke J im Stromkreis des ersten Elements besteht nach Formel 17 die Relation:

$$\text{a)}. \quad \ldots\ldots \quad J = \frac{E}{w+r}$$

und für die Stromstärke J des zweiten amal grösseren Elements von gleicher elektromotorischer Kraft und vom wesentlichen Widerstand $\frac{w_1}{a}$ besteht die Relation:

$$\text{b)}. \quad \ldots\ldots \quad J = \frac{E}{\frac{w_1}{a}+r}$$

Da diese beiden Stromstärken einander gleich sind, so ist nach den Gleichungen a). u. b). auch:

$$\frac{E}{w+r} = \frac{E}{\frac{w_1}{a}+r}$$

oder:

$$\frac{w_1}{a} + r = w + r$$

und hieraus ergibt sich für den gesuchten wesentlichen Widerstand:

$$w_1 = a\,w \text{ (siehe Erkl. 708).}$$

Aufgabe 40. Ein galvanisches Element vom wesentlichen Widerstand w ist in einen Stromkreis vom äusseren Widerstand r eingeschaltet. Die Stromstärke in diesem Stromkreis ist gleich J. Bei welchem äusseren Widerstand r_1 wird durch eine Säule von n solchen Elementen eine afache Stromstärke erhalten?

Auflösung. Für die Stromstärke im ersten Stromkreis besteht nach Formel 17 die Relation:

$$\text{a)}. \quad \ldots\ldots \quad J = \frac{E}{w+r}$$

und für die Stromstärke im Stromkreis einer Säule von n solcher Elemente besteht, da in diesem Stromkreis nach der Aufgabe

die elektromotorische Kraft $= n\,E$
der wesentliche Widerstand $= n\,w$
der äussere Widerstand $= r_1$
die Stromstärke $= a\,J$

nach Formel 17 die Relation:

$$\text{b)}. \quad \ldots\ldots \quad aJ = \frac{n\,E}{nw + r_1}$$

Aus den Gleichungen a). und b). ergibt sich:

$$\frac{a\,E}{w+r} = \frac{n\,E}{nw+r_1}$$

oder:

$$anw + ar_1 = nw + nr$$

und hieraus erhält man für den gesuchten äusseren Widerstand im Stromkreis von n solcher Elemente:

$$r_1 = \frac{nw + nr - anw}{a}$$

oder:

$$\text{c)}. \quad . \quad . \quad r_1 = \frac{n}{a}\left[r + w(1-a)\right]$$

Aufgabe 41. Zur Messung der Stromstärken J und a J in den beiden in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreisen wird eine Tangentenbussole angewendet, deren Widerstand g nicht vernachlässigt werden soll. Welches ist alsdann der äussere Widerstand r_1, wenn die Stromstärke im Stromkreis der n Elemente wiederum a mal so gross sein soll, als ein Stromkreis eines dieser Elemente?

Erkl. 709. Setzt man in nebenstehender Gleichung c).:

r statt $r + g$

und $g = 0$

setzt man also die der Aufgabe 40 zu Grunde liegenden Bedingungen, so erhält man:

$$r_1 = \frac{1}{a}\left[nr + nw(1-a)\right]$$

oder:

$$r_1 = \frac{n}{a}\left[r + w(1-a)\right]$$

übereinstimmend mit Gleichung c). in Auflösung der Aufgabe 40.

Auflösung. Da unter Berücksichtigung des Widerstands g der in beide Stromkreise eingeschalteten Tangentenbussole der äussere Widerstand des ersten Stromkreises nach voriger Aufgabe gleich $r + g$, der äussere Widerstand des zweiten Stromkreises gleich $r_1 + g$ ist, so gehen die Gleichungen a). und b). in voriger Auflösung über in:

$$\text{a)}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad J = \frac{E}{w + r + g}$$

und

$$\text{b)}. \quad . \quad . \quad . \quad aJ = \frac{nE}{nw + r_1 + g}$$

und hieraus ergibt sich:

$$\frac{aE}{w + r + g} = \frac{nE}{nw + r_1 + g}$$

oder:

$$anw + ar_1 + ag = nw + nr + ng$$

Man hat somit für den gesuchten äusseren Widerstand im Stromkreis der n Elemente:

$$r_1 = \frac{1}{a}\left(nw + nr + ng - anw - ag\right)$$

oder:

$$r_1 = \frac{1}{a}\left[n(w + r - aw) + g(n-a)\right]$$

oder:

$$\text{c)}. \quad r_1 = \frac{1}{a}\left[n(r+g) + nw(1-a) - ag\right]$$

(siehe Erkl. 709).

Aufgabe 42. In einem Stromkreis befindet sich eine Säule von n Elementen, deren jedes die gleiche elektromotorische Kraft E und den gleichen wesentlichen Widerstand w besitzt. Der äussere Widerstand dieses Stromkreises ist gleich r, die Stromstärke gleich J. Wie berechnet man die Anzahl m der Elemente von gleicher Art, wie die im Stromkreis bereits vorhandenen, welche zu diesem hinzugefügt werden müssen, damit bei unverändertem äusserem Widerstand die Stromstärke a mal grösser wird?

Auflösung. Für die Stromstärke im Stromkreis aus n Elementen besteht nach Formel 17 die Relation:

$$\text{a)}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad J = \frac{nE}{nw + r}$$

und für die Stromstärke aJ im Stromkreis von $m + n$ Elementen besteht, wenn deren gesamte elektromotorische Kraft also gleich $(m + n)E$ und deren wesentlicher Widerstand gleich $(m + n)w$ ist, die Relation:

$$\text{b)}. \quad . \quad . \quad aJ = \frac{(m+n)E}{(m+n)w + r}$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich:

$$\text{c)}. \quad . \quad . \quad \frac{anE}{nw + r} = \frac{(m+n)E}{(m+n)w + r}$$

Durch Division mit E und Multiplikation mit dem Generalnenner erhält man:

$$anw(m+n)+anr = nw(m+n)+r(m+n)$$

oder:

$$amnw+an^2w+anr = mnw+n^2w+mr+nr$$

oder:

$$mr+mnw-amnw = an^2w-n^2w+anr-nr$$

oder:

$$m\left[r-nw(a-1)\right] = n^2w(a-1)+nr(a-1)$$

und hieraus ergibt sich für die gesuchte Anzahl m der Elemente, welche der vorhandenen Säule hinzuzufügen sind, damit die Stromstärke J um das afache vergrössert wird:

$$m = n\cdot\frac{nw(a-1)+r(a-1)}{r-nw(a-1)}$$

oder:

$$\text{d)}.\;.\;.\;.\quad m = \frac{n(nw+r)(a-1)}{r-nw(a-1)}$$

Aufgabe 43. Welches ist die grösste Stromstärke aJ, welche man in dem in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreis durch Vermehrung der Anzahl der zur Säule verbundenen Elemente erreichen kann:

1). Wenn der äussere Widerstand r sehr klein ist im Vergleich zum wesentlichen Widerstand w eines dieser Elemente?

2). Wenn r kleiner ist als der gesamte wesentliche Widerstand nw des ursprünglichen Stromkreises?

3). Wenn $r = nw$ ist?

4). Wenn r grösser als nw ist?

Auflösung. 1). Ist ein galvanisches Element von der elektromotorischen Kraft E und dem wesentlichen Widerstand w durch einen Leiter geschlossen, dessen Widerstand im Vergleich zu w so klein ist, dass man denselben vernachlässigen kann, so hat man nach Formel 17 für die Stromstärke J in diesem Stromkreis die Relation:

$$\text{a)}.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\quad J = \frac{E}{w}$$

Schaltet man nun, ohne den sehr kleinen äusseren Widerstand zu ändern, mehrere, z. B. n solcher Elemente zur Säule in diesen Stromkreis, so bleibt die Stromstärke die gleiche, denn nun hat man für die Stromstärke im Stromkreis dieser n Elemente die Relation:

$$J = \frac{nE}{nw}$$

oder wiederum:

$$\text{b)}.\;.\;.\;.\;.\;.\quad J = \frac{E}{w}$$

Ist also der äussere Widerstand r im Vergleich zu dem wesentlichen Widerstand w eines dieser Elemente sehr klein, so kann man die in der Aufgabe verlangte Vergrösserung der Stromstärke durch Vermehrung der hintereinandergeschalteten Elemente nicht erzielen.

2). Setzt man entsprechend dem in der Aufgabe unter 2). aufgestellten Fall:

$$r < nw$$

so ergibt sich aus Gleichung d). in voriger Auflösung, nämlich:

$$\text{e)}.\;.\;.\;.\quad m = \frac{n(nw+r)(a-1)}{r-nw(a-1)}$$

einerlei, welchen ganzen oder gebrochenen Zahlenwert man a beilegt, dass der Nenner $r-nw(a-1)$ negativ wird, dass somit, wenn $r < nw$ ist, keine Vergrösserung der Stromstärke durch Vermehrung der zur Säule verbundenen Elemente sich erzielen lässt.

3). Setzt man entsprechend dem in der Aufgabe unter 3). aufgestellten Fall:

$$r = n w$$

und setzt man diesen Wert von n in den Nenner der Gleichung c)., so wird dieser Nenner:

$$r - nw(a-1) = nw - nw(a-1)$$

oder:

$$= nw\left[1-(a-1)\right]$$

oder:

d). $= nw(2-a)$

Für diesen Fall ist die grösstmögliche Vermehrung a der Stromstärke gleich 2, wobei dieser Nenner $nw(2-a)$ gleich 0 wird, und wobei alsdann:

$$m = \frac{n(nw+r)(a-1)}{0}$$

oder:

e). $m = \infty$ ist.

Für diesen Fall also, dass $r = nw$ ist, ist nach Gleichung a). in voriger Auflösung die Stromstärke des ursprünglichen Stromkreises:

$$J = \frac{nE}{2nw}$$

oder:

$$J = \frac{E}{2w}$$

und diese Stromstärke wird doppelt so gross, also:

$$2J = \frac{E}{w}$$

wenn die Anzahl m der hinzugefügten Elemente eine unendlich grosse ist.

Erkl. 710. Aus nebenstehender Auflösung geht hervor, dass die ursprüngliche Stromstärke J durch Vermehrung der Anzahl der zur Säule verbundenen Elemente um so mehr vergrössert werden kann, je grösser der (unveränderliche) äussere Widerstand r des Stromkreises im Vergleich zu dem wesentlichen Widerstand nw desselben ist, dass jedoch diese Stromstärke niemals grösser werden kann als:

$$J = \frac{E}{w}$$

dass somit die grösstmögliche Stromstärke, welche durch Vermehrung der zur Säule verbundenen Elemente erreicht werden kann, diejenige eines einzigen dieser Elemente ist, welches durch einen im Vergleich zum wesentlichen Widerstand w dieses Elements unendlich kleinen äusseren Widerstand, also $r = 0$ geschlossen ist.

4). Ist dagegen entsprechend dem in der Aufgabe unter 4). gesetzten Fall:

$$r > nw$$

so ist die durch Gleichung a). in voriger Auflösung gegebene Stromstärke J kleiner als in den oben erwähnten Fällen. Ist z. B.:

$$r = 2nw$$

so ist:

$$J = \frac{nE}{nw + 2nw}$$

oder:

f). $J = \frac{E}{3w}$

und in diesem Fall geht Gleichung d). in voriger Auflösung über in:

$$m = \frac{n \,.\, 3nw(a-1)}{2nw - nw(a-1)}$$

oder:

$$m = \frac{3n^2w(a-1)}{nw\left[2-(a-1)\right]}$$

oder:

$$m = \frac{3nw(a-1)}{3-a}$$

In diesem Fall wird:

$$m = \infty$$

wenn $a = 3$ ist.

In diesem Fall ist also durch Hinzufügen einer unendlich grossen Anzahl m von Elementen eine

3mal so grosse Stromstärke zu erreichen, und zwar wird alsdann die Stromstärke:

$$3\,J = \frac{E}{w} \text{ (siehe Erkl. 710).}$$

Aufgabe 44. 3 galvanische Elemente, deren jedes eine elektromotorische Kraft von 1,3 Volt und einen Widerstand von 0,5 Ohm besitzt, werden parallel geschaltet und durch einen Leiter geschlossen, dessen Widerstand 11 Ohm beträgt. Wie gross ist die Stromstärke in Ampère in diesem Stromkreis?

Auflösung. Setzt man in

Formel 22 . . . $J = \dfrac{e}{\frac{w}{n} + r}$

der Aufgabe entsprechend:

$$e = 1{,}3$$
$$w = 0{,}5$$
$$n = 3$$
$$r = 11$$

setzt man also:

$$J = \frac{1{,}3}{\frac{0{,}5}{3} + 11}$$

so erhält man für die Stromstärke in diesem Stromkreis:

$$J = 0{,}116 \text{ Ampère.}$$

Aufgabe 45. Wieviel parallel geschaltete Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft von 0,9 Volt und den Widerstand von 0,6 Ohm besitzt, sind erforderlich, um in einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 5 Ohm ist, eine Stromstärke von 10 Ampère zu liefern?

Auflösung. Aus

Formel 22 . . . $J = \dfrac{e}{\frac{w}{n} + r}$

erhält man:

$$\frac{w}{n} J + r\,J = e$$

ferner:

$$w\,J + r\,J\,n = e\,n$$

oder:

$$e\,n - r\,J\,n = w\,J$$

und hieraus ergibt sich für die Anzahl der parallel zu schaltenden Elemente:

a). $n = \dfrac{w\,J}{e - r\,J}$

Setzt man in dieser Gleichung der Aufgabe entsprechend:

$$w = 0{,}6$$
$$J = 10$$
$$e = 0{,}9$$
$$r = 5$$

so erhält man für die gesuchte Anzahl der parallel zu schaltenden Elemente:

$$n = \frac{0{,}6\,.\,10}{0{,}9 - 5\,.\,10}$$

Der Wert von w wird also bei den in der Aufgabe aufgestellten Beziehungen negativ, d. h. mit beliebig vielen Elementen von der angegebenen elektromotorischen Kraft und dem angegebenen Widerstand lässt sich durch Parallelschaltung in einem Stromkreis von dem angegebenen äusseren Widerstand die verlangte Stromstärke nicht erreichen.

Aufgabe 46. Welches ist der grösstmögliche äussere Widerstand des in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreises, damit bei Anwendung von n parallel geschalteten Elementen die erwähnte Stromstärke erreicht wird?

Auflösung. Damit in dem in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreis die erwähnte Stromstärke erreicht wird, muss in Gleichung a). in voriger Auflösung, nämlich in:

$$n = \frac{w\,J}{e - r\,J}$$

$$e < r\,J \text{ sein,}$$

denn für $e > r\,J$

wird der Wert von n negativ, und für:

$$e = r\,J$$

also: $e - r\,J = 0$

wird: $n = \infty$

Da nun nach voriger Aufgabe:

$$e = 0{,}9 \text{ Volt,}$$

und $J = 10$ Ampère ist,

so ist für: $e = r\,J$

wenn man diese Werte einsetzt:

$$0{,}9 = r\,.\,10$$

mithin: $r = 0{,}09$ Ohm.

Die verlangte Stromstärke kann also durch Parallelschaltung von Elementen, deren elektromotorische Kraft gleich 0,9 Volt ist, nur erreicht werden, wenn der äussere Widerstand r des Stromkreises k l e i n e r als 0,09 Ohm ist.

Aufgabe 47. In einem Stromkreis befinden sich 20 galvanische Elemente, von welchen je 5 hintereinander geschaltet und die hierdurch entstehenden 4 Säulen parallel geschaltet sind. Die elektromotorische Kraft jedes dieser Elemente ist gleich 1,1 Volt, der Widerstand jedes dieser Elemente ist gleich 0,8 Ohm, der äussere Widerstand dieses Stromkreises ist gleich 5,2 Ohm. Welche Stromstärke in Ampère herrscht in diesem Stromkreis?

Auflösung 1. Die elektromotorische Kraft e einer Säule aus 5 der angegebenen Elemente ist gleich $5\,.\,1{,}1 = 5{,}5$ Volt, der wesentliche Widerstand dieser Säule ist gleich $5\,.\,0{,}8 = 4{,}0$ Ohm. Werden 4 solcher Säulen parallel geschaltet, so ergibt sich, wenn man in

Formel 22 . . . $J = \dfrac{e}{\dfrac{w}{n} + r}$

$$e = 5{,}5$$
$$w = 4{,}0$$
$$r = 5{,}2$$
$$n = 4 \text{ (parallele Säulen)}$$

setzt, für die Stromstärke in diesem Stromkreis:

$$J = \frac{5{,}5}{\dfrac{4{,}0}{4} + 5{,}2}$$

oder: $J = 0{,}89$ Ampère.

Auflösung 2. Setzt man in

Formel 26 . . . $i_1 = \dfrac{e}{\dfrac{w}{a} + \dfrac{r}{b}}$

$$e = 1{,}1$$
$$w = 0{,}8$$
$$r = 5{,}2$$
$$a = 4 \text{ (parallele Gruppen)}$$
$$b = 5 \text{ (hintereinander geschaltete Elemente)}$$

so erhält man die Stromstärke in diesem Stromkreis:

$$i_t = \frac{1{,}1}{\frac{0{,}8}{4} + \frac{5{,}2}{5}}$$

oder:

$$i_t = 0{,}89$$

Aufgabe 48. Wieviel Ohm muss der äussere Widerstand des in Aufgabe 46 beschriebenen Stromkreises betragen, damit die Stromstärke gleich 2,5 Ampère wird?

Auflösung. Um zunächst aus

Formel 26 . . . $i_t = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{r}{b}}$

r zu berechnen, multipliziert man dieselbe mit $\frac{w}{a} + \frac{r}{b}$:

$$i_t \frac{w}{a} + i_t \frac{r}{b} = e$$

ferner mit ab:

$$i_t wb + i_t ar = eab$$

und hieraus erhält man:

$$r = \frac{eab - i_t wb}{i_t a}$$

Setzt man in letzterer Gleichung der Aufgabe entsprechend:

$$e = 1{,}1$$
$$w = 0{,}8$$
$$a = 4 \text{ (parallele Gruppen)}$$
$$b = 5 \text{ (hintereinandergeschaltete Elemente)}$$
$$i_t = 2{,}5$$

so erhält man für den gesuchten äusseren Widerstand:

$$r = \frac{1{,}1 . 4 . 5 - 2{,}5 . 0{,}8 . 5}{2{,}5 . 4}$$

oder:

$$r = \frac{22 - 10}{10}$$

oder:

$$r = 1{,}2 \text{ Ohm.}$$

Aufgabe 49. 40 galvanische Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft von 0,8 Volt und einen Widerstand von 1,2 Ohm besitzt, sollen derart geschaltet werden, dass in deren Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 3 Ohm ist, die grösstmögliche Stromstärke erreicht wird. Wie müssen diese Elemente geschaltet werden?

Auflösung. Setzt man in

Formel 28 . . . $a = \sqrt{\frac{nw}{r}}$

der Aufgabe entsprechend:

$$n = 40$$
$$w = 1{,}2$$
$$r = 3$$

so erhält man für die Zahl der parallel zu schaltenden Elemente:

$$a = \sqrt{\frac{40 \,.\, 1{,}2}{3}}$$

oder:

$$a = \sqrt{16}$$

oder:

$$a = 4$$

Setzt man ferner in

Formel 27 . . . $b = \sqrt{\frac{n\,r}{w}}$

die obigen der Aufgabe entsprechenden Zahlenwerte ein, so erhält man für die Anzahl der hintereinander zu schaltenden Elemente:

$$b = \sqrt{\frac{40 \,.\, 3}{1{,}2}}$$

oder:

$$b = \sqrt{100}$$

oder:

$$b = 10$$

Die grösstmögliche Stromstärke wird also erreicht, wenn je 4 Elemente parallel geschaltet und die sich so ergebenden 10 Elemente von 4facher Grösse hintereinander (d. i. zur Säule) verbunden werden.

Aufgabe 50. Welches ist die Stromstärke in Ampère, welche in dem in voriger Aufgabe verlangten Stromkreis erhalten wird?

Erkl. 711. Formel 29:

$$J = \frac{e}{2}\sqrt{\frac{n}{rw}}$$

ergibt das theoretische Maximum der Stromstärke im Stromkreis von n Elementen, deren jedes die elektromotorische Kraft e und den Widerstand w besitzt, bei einem äusseren Widerstand gleich r.

Formel 26 . . $i_1 = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{r}{6}}$

ergibt diese selbe Stromstärke, vorausgesetzt, dass hierin a und b genau die aus:

Formel 27 . . . $b = \sqrt{\frac{nr}{w}}$

und

Formel 28 . . . $a = \sqrt{\frac{nw}{r}}$

für a und b berechneten Werte sind. Dies ist jedoch nur dann der Fall, wenn die Werte unter dem Wurzelzeichen in den Formeln 27 und 28 reine Quadratzahlen sind, wenn also diese Werte bei der Radizierung ganze Zahlen liefern, wie dies in voriger und nebenstehender Aufgabe der Fall ist.

Ergeben hingegen die Formeln 27 und 28 für a oder b oder für beide gebrochene Zahlen,

Auflösung 1. Setzt man in

Formel 29 . . . $J = \frac{e}{2}\sqrt{\frac{n}{rw}}$

der vorigen Aufgabe entsprechend:

$$e = 0{,}8$$
$$n = 40$$
$$r = 3$$
$$w = 1{,}2$$

so erhält man für die Stromstärke in dem in voriger Auflösung berechneten Stromkreis:

$$J = \frac{0{,}8}{2}\sqrt{\frac{40}{3 \,.\, 1{,}2}}$$

oder:

$$= 0{,}4\sqrt{11{,}1}$$

oder:

$$= 0{,}4 \,.\, 3{,}33$$

oder:

$$= 1{,}33 \text{ Ampère.}$$

Auflösung 2. Setzt man in:

Formel 26 . . . $i_1 = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{r}{6}}$

der vorigen Aufgabe entsprechend:

$$e = 0{,}8$$
$$w = 1{,}2$$
$$r = 3$$

und der Auflösung zu voriger Aufgabe entsprechend:

$$a = 4$$
$$b = 10$$

so erhält man für die Stromstärke in diesem Stromkreis:

so muss man die nächstliegenden ganzen Zahlen wählen, um dem durch die gebrochene Zahl gegebenen theoretischen Wert das Maximum der Stromstärke möglichst nahe zu kommen (siehe Erkl. 712).

Alsdann ergibt Formel 26, in welche diese Annäherungswerte für a und b eingesetzt werden, einen geringeren Wert für die Stromstärke, als Formel 29.

$$i_1 = \frac{0{,}8}{\frac{1{,}2}{4} + \frac{3}{10}}$$

oder:

$$i_1 = \frac{0{,}8}{0{,}3 + 0{,}3}$$

oder:

$$i_1 = 1{,}33 \text{ Ampère},$$

was somit in Uebereinstimmung mit voriger Auflösung ist (siehe Erkl. 711).

Aufgabe 51. Es sind 16 gleichartige galvanische Elemente gegeben, deren jedes eine elektromotorische Kraft von 1,8 Volt und einen wesentlichen Widerstand von 0,4 Ohm besitzt. Dieselben sollen zu einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 0,9 Ohm ist, vereinigt werden, so zwar, dass die Stromstärke in diesem Stromkreis möglichst gross wird. Wie müssen diese Elemente geschaltet werden und welches ist die dabei erhaltene Stromstärke in Ampère?

Auflösung 1. Setzt man in:

Formel 28 . . $a = \sqrt{\frac{nw}{nr}}$

der Aufgabe entsprechend:

$$n = 16$$
$$w = 0{,}4$$
$$r = 0{,}9$$

so ergibt sich für die Anzahl der parallel zu schaltenden Elemente:

$$a = \sqrt{\frac{16 \,.\, 0{,}4}{0{,}9}}$$

oder:

$$a = \sqrt{7{,}1}$$

oder: $a = 2{,}667$

Setzt man ferner in:

Formel 27 . . . $b = \sqrt{\frac{nr}{w}}$

diese Werte ein, so erhält man für die Anzahl der hintereinander zu schaltenden Elemente:

$$b = \sqrt{\frac{16 \,.\, 0{,}9}{0{,}4}}$$

oder:

$$b = \sqrt{36}$$

oder: $b = 6$

Man hat nun statt $a = 2{,}667$ die nächstliegende Zahl zu nehmen, damit die Schaltung aufgeht. Würde man $a = 4$ setzen, so würde $b = 4$ sein, setzt man $a = 2$, so wird $b = 8$.

Setzt man in:

Formel 29 . . $J = \frac{e}{2}\sqrt{\frac{n}{rw}}$

der Aufgabe entsprechend:

$$e = 1{,}8$$
$$n = 16$$
$$r = 0{,}9$$
$$w = 0{,}4$$

so erhält man für das theoretische Maximum der Stromstärke:

$$J = \frac{1,8}{2}\sqrt{\frac{16}{0,9 \,.\, 0,4}}$$

oder:

$$J = \frac{1,8}{2}\sqrt{44}$$

oder:

$$J = \frac{1,8}{2} \cdot 6,63$$

oder:

$$J = 5,97 \text{ Ampère.}$$

Nimmt man nun statt:

$$a = 2,667$$

$$a = 4$$

und statt: $b = 6$

dementsprechend: $b = 4$

schaltet man also die gegebenen 16 Elemente in 4 parallele Säulen von je 4 hintereinander geschalteten Elementen, so hat man für die Stromstärke in diesem Stromkreis nach:

Formel 26 . . . $i_1 = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{r}{b}}$

wenn man diese Werte einsetzt:

$$i_1 = \frac{1,8}{\frac{0,4}{4} + \frac{0,9}{4}}$$

oder:

$$i_1 = 5,54 \text{ Ampère.}$$

Nimmt man dagegen statt:

$$a = 2,667$$

$$a = 2$$

und statt: $b = 6$

dementsprechend: $b = 8$

schaltet man also die gegebenen 16 Elemente in 2 parallele Säulen von je 8 hintereinander geschalteten Elementen, so hat man für die Stromstärke in diesem Stromkreis nach Formel 26:

$$i_1 = \frac{1,8}{\frac{0,4}{2} + \frac{0,9}{8}}$$

oder:

$$i_1 = 5,76 \text{ Ampère.}$$

Das sich nach Formel 29 ergebende Maximum der Stromstärke wird also am nächsten erreicht, wenn die zuletzt erörterte Schaltung, welche der berechneten am nächsten kommt, gewählt wird.

Auflösung 2. Setzt man in Gleichung k_1). in Antwort auf Frage 344:

$$\frac{w}{a} = \frac{r}{b}$$

der Aufgabe entsprechend:

$$w = 0,4$$

$$r = 0,9$$

setzt man also:

$$\frac{0,4}{a} = \frac{0,9}{b}$$

so ergibt sich:

a). $\frac{a}{b} = \frac{0,4}{0,9}$ oder $= 0,444$

und setzt man nun der Reihe nach die für 16 Elemente möglichen Werte für a und b, also:

1). $a = 1$ und $b = 16$
2). $a = 2$ und $b = 8$
3). $a = 4$ und $b = 4$
4). $a = 8$ und $b = 2$
5). $a = 1$ und $b = 16$

so erhält man:

für 1). $\frac{a}{b} = \frac{1}{16}$ oder $= 0,0625$

„ 2). $\frac{a}{b} = \frac{2}{8}$ oder $= 0,25$

„ 3). $\frac{a}{b} = 1$

„ 4). $\frac{a}{b} = 4$

„ 5). $\frac{a}{b} = 16$

Demnach entsprechen die unter 2). gewählten Werte von a und b der durch die Gleichung k_1). in Antw. auf Frage 344 geforderten Bedingung am nächsten; die Stromstärke ist somit am grössten, wenn die unter 2). gewählte Schaltung: 2 Säulen von je 8 Elementen parallel geschaltet, gewählt wird.

Erkl. 712. Zu nebenstehender Auflösung 2 ist folgendes zu bemerken:

In manchen Fällen ist es nicht ganz unzweifelhaft, ob man statt der für die Schaltung berechneten gebrochenen Zahl ($a = 2,667$) die nächst kleinere oder nächst grössere ganze Zahl, welche die Anzahl der Elemente ($n = 16$) zulässt, zu wählen hat, um das Maximum der Stromstärke zu erreichen, also in vorstehender Aufgabe statt $a = 2,667$ $a = 2$ oder $= 4$ (für $a = 3$ würde $b = 5^1/_3$, also wieder eine gebrochene Zahl werden). Man berechnet alsdann für die nächst niederen und für die nächst höheren anwendbaren Zahlenwerte von a und b die Stromstärken, und wählt alsdann diejenigen Werte, welche die grösste Stromstärke ergeben (siehe vorige Erkl. und nebenstehende Auflösung 1).

Aufgabe 52. Welche grösstmögliche Stromstärke würde erreicht werden, wenn in dem in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreis nur 15 der erwähnten Elemente eingeschaltet würden?

Auflösung. Setzt man der Reihe nach alle für 15 Elemente möglichen Werte für a und b, setzt man also:

1). $a = 1$ und $b = 15$
2). $a = 3$ und $b = 5$
3). $a = 5$ und $b = 3$
4). $a = 15$ und $b = 1$

so erhält man:

für 1). $\frac{a}{b} = \frac{1}{15}$ oder $= 0,067$

„ 2). $\frac{a}{b} = \frac{3}{5}$ oder $= 0,6$

„ 3). $\frac{a}{b} = \frac{5}{3}$

„ 4). $\frac{a}{b} = 15$

Von diesen 4 Werten kommt der unter 2). gesetzte dem in Gleichung a). in voriger Auflösung 2 entwickelten Wert:

$$\frac{a}{b} = 0,444$$

am nächsten.

Erkl. 713. Vergleicht man die in nebenstehender und voriger Auflösung gefundenen Werte von J, so findet man, dass mit einer Säule von 5 dreifachen der bezeichneten Elemente bei dem der Aufgabe zu grunde liegenden Verhältnis des äusseren Widerstands zu dem Widerstand eines einzelnen dieser Elemente eine grössere Stromstärke erreicht wird, als mit 2 achtfachen Elementen.

Dies erhellt auch aus einer Vergleichung des theoretischen Verhältnisses $\frac{a}{b} = 0,444$, welches für die Schaltung der 16 bezw. 15 Elemente in den in den Aufgaben 51 und 52 erwähnten beiden Stromkreisen berechnet wurde (siehe Gleichung a). in Auflösung 2 der Aufgabe 51).

Es ist nämlich zwischen dem theoretischen Verhältnis $\frac{a}{b} = 0,444$ und dem für die in Auf-

lösung 2 der Aufgabe 51 unter 1). und 2). berechneten beiden Verhältnisse, nämlich:

für 2). $\frac{a}{b} = 0{,}25$ die Differenz $= 0{,}19$

und für 3). $\frac{a}{b} = 1$ „ „ $= 0{,}56$

während zwischen $\frac{a}{b} = 0{,}44$ und $\frac{a}{b} = \frac{3}{5}$ oder $= 0{,}60$ diese Differenz nur 0,16 beträgt [siehe in nebenstehender Auflösung unter 2).].

Es kommt also die gewählte Schaltung der 15 Elemente der Bedingung: $\frac{a}{b} = 0{,}44$ näher, als es bei 16 Elementen möglich ist. Somit muss auch die Stromstärke bei Anwendung von 15 Elementen grösser sein als bei Anwendung von 16 Elementen.

Setzt man dementsprechend in

Formel 26 . . . $i_1 = \dfrac{e}{\frac{w}{a} + \frac{r}{b}}$

$a = 3$
und $b = 5$

und der Aufgabe entsprechend:

$e = 1{,}8$
$w = 0{,}4$
$r = 0{,}9$

so erhält man für die der gewählten Schaltung entsprechende grösstmögliche Stromstärke:

$i_1 = \dfrac{1{,}8}{\frac{0{,}4}{3} + \frac{0{,}9}{5}}$ (siehe Erkl. 713)

oder: $i_1 = 5{,}81$ Ampère.

Aufgabe 53. In einem Laboratorium stehen 20 galvanische Elemente zur Verfügung. Bei einem Experiment wird eine Stromstärke von 8 Ampère gefordert, und zwar in einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand möglichst gross ist. Welches ist dieser grösste äussere Widerstand, welchen man unter Verwendung dieser 20 Elemente anwenden kann, um diese Stromstärke zu erreichen, wenn jedes dieser Elemente eine elektromotorische Kraft von 1,6 Volt und einen Widerstand von 0,5 Ohm besitzt?

Auflösung. Die Aufgabe besteht in der Bestimmung von r aus

Formel 29 . . . $J = \frac{e}{2}\sqrt{\frac{n}{r\,w}}$

Erhebt man diese Formel aufs Quadrat, so ergibt sich:

$$J^2 = \frac{e^2 n}{4\,r\,w}$$

und hieraus erhält man:

a). $r = \dfrac{e^2 n}{4\,J^2 w}$

Setzt man in Gleichung a). der Aufgabe entsprechend:

$e = 1{,}6$
$n = 20$
$J = 8$
$w = 0{,}5$

so erhält man für den gesuchten äusseren Widerstand:

$$r = \frac{2{,}56 \,.\, 20}{4 \,.\, 64 \,.\, 0{,}5}$$

oder: $r = 0{,}4$ Ohm.

Aufgabe 54. Wie sind die in voriger Aufgabe erwähnten Elemente zu schalten, damit dieselben in einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 0,4 Ohm ist, die grösstmögliche Stromstärke bewirken?

Auflösung. Setzt man in

Formel 28 . . . $a = \sqrt{\frac{n\,w}{r}}$

der Aufgabe entsprechend:

$n = 20$
$w = 0{,}5$
$r = 0{,}4$

so erhält man für die Anzahl der parallel zu schaltenden Elemente:

$$a = \sqrt{\frac{20 \cdot 0{,}5}{0{,}4}}$$
$$= \sqrt{25}$$
$$= 5$$

und setzt man in:

Formel 27 . . . $b = \sqrt{\frac{n\,r}{w}}$

diese Werte ein, so erhält man für die Anzahl der hintereinander zu schaltenden Elemente:

$$b = \sqrt{\frac{20 \cdot 0{,}4}{0{,}5}}$$
$$= \sqrt{16}$$
$$= 4$$

Die bei dieser Schaltung erzielte Stromstärke ergibt sich aus:

Formel 26 . . . $i_1 = \dfrac{e}{\dfrac{w}{a} + \dfrac{r}{b}}$

da der Aufgabe entsprechend:

$$e = 1{,}6$$
$$w = 0{,}5$$
$$r = 0{,}4$$
$$a = 5$$
$$b = 4$$

ist, zu:

$$i_1 = \frac{1{,}6}{\frac{0{,}5}{5} + \frac{0{,}4}{4}}$$

oder:

$$i_1 = \frac{1{,}6}{0{,}2}$$

oder: $i_1 = 8$ Ampère,

übereinstimmend mit der in voriger Aufgabe verlangten Stromstärke.

Aufgabe 55. In einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand r ist, sind n Elemente, deren jedes die gleiche elektromotorische Kraft e und den Widerstand w hat, einmal sämtlich hintereinander, das andere Mal zu je a Elemente parallel geschaltet. Es sind die Bedingungen aufzusuchen, unter welchen beidemal die gleiche Stromstärke erreicht wird.

Auflösung. Die Stromstärke in den beiden Stromkreisen ist gegeben durch

Formel 26 . . . $i_1 = \dfrac{e}{\dfrac{w}{a} + \dfrac{r}{b}}$

In dem ersten dieser Stromkreise, in welchem sämtliche n Elemente hintereinander geschaltet sind, ist demnach:

$$a = 1$$
und $b = n$

in diesem Stromkreis ist somit die Stromstärke nach Formel 26:

a). $i_1 = \dfrac{e}{w + \dfrac{r}{n}}$

In dem zweiten Stromkreis ist, da hier die n Elemente zu einer Säule von b afachen Elementen geschaltet sind:

$$n = ab$$

oder: $$b = \frac{n}{a}$$

[siehe auch Antw. auf Frage 344 unter A).].

Setzt man diesen Wert von b in Formel 26 ein, so erhält man für die Stromstärke in diesem zweiten Stromkreis:

$$\text{b). } \ldots \ldots i_1 = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{ar}{n}}$$

Da nach der Aufgabe die Stromstärken in diesen beiden Stromkreisen einander gleich sein sollen, so ist nach den Gleichungen a). und b).:

$$\text{c). } \ldots \frac{e}{w + \frac{r}{n}} = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{ar}{n}}$$

oder:

$$\frac{w}{a} + \frac{ar}{n} = w + \frac{r}{n}$$

Multipliziert man letztere Gleichung mit an, so ergibt sich:

$$nw + a^2 r = anw + ar$$

oder:

$$a^2 r - anw - ar = -nw$$

oder:

$$a^2 - \frac{a(nw + r)}{r} = -\frac{nw}{r}$$

Addiert man auf beiden Seiten dieser Gleichung $\frac{(nw + r)^2}{4r^2}$, also:

$$a^2 - \frac{a(nw + r)}{r} + \left(\frac{nw + r}{2r}\right)^2 = \frac{(nw + r)^2}{4r^2} - \frac{nw}{r}$$

so ergibt sich:

$$\left(a - \frac{nw + r}{2r}\right)^2 = \frac{n^2 w^2 + 2nrw + r^2 - 4nrw}{4r^2}$$

oder:

$$= \frac{n^2 w^2 - 2nrw + r^2}{4r^2}$$

d. i.:

$$= \left(\frac{nw - r}{2r}\right)^2$$

Mithin ist:

$$a - \frac{nw + r}{2r} = \pm \frac{nw - r}{2r}$$

und hieraus erhält man für a die beiden Werte:

$$\text{d). } \ldots a = \frac{nw + r \pm (nw - r)}{2r}$$

Von den durch Gleichung d). gegebenen beiden Werten ist nur der erste möglich, denn für:

$$\frac{nw + r - (nw - r)}{2r} = \frac{2r}{2r} = 0$$

wäre also $a = 0$, was unmöglich ist, da $a \geqq 1$ sein muss. Man hat somit für die Anzahl der

parallel zu schaltenden Elemente nach Gleichung d).:

$$a = \frac{nw + r + (nw - r)}{2r}$$

oder:

$$a = \frac{2nw}{2r}$$

oder:

$$a = \frac{nw}{r}$$

und hieraus ergibt sich:

e). $w = \frac{ar}{n}$

oder:

f). $w : r = a : n$

als Bedingung dafür, dass die Stromstärke in einem Stromkreis die gleiche ist, einerlei ob die n Elemente alle hintereinander, oder zu je a parallelen Elementen geschaltet sind.

Setzt man den Wert von w aus Gleichung e). in Gleichung b). ein, so ergibt sich:

$$i_1 = \frac{e}{\frac{ar}{an} + \frac{ar}{n}}$$

oder:

$$i_1 = \frac{ne}{r + ar}$$

oder:

g). $i_1 = \frac{ne}{r(a+1)}$

welch letztere Gleichung die der Bedingungsgleichung e). entsprechende Stromstärke bei den beiden erwähnten Schaltungen der Elemente ausdrückt.

Aufgabe 56. Eine Anzahl von n galvanischen Elementen, deren jedes die elektromotorische Kraft e und den Widerstand w besitzt, befinden sich in Hintereinanderschaltung in einem Stromkreis vom äusseren Widerstand r. Welche Anzahl x dieser Elemente liefert zu je a parallelen Elementen bei dem gleichen äusseren Widerstand r die gleiche Stromstärke, wie obige n Elemente in Hintereinanderschaltung?

Auflösung. Die Stromstärke im ersten Stromkreis ist nach:

Formel 18 . . . $J = \frac{ne}{nw + r}$

und die Stromstärke im zweiten Stromkreis ist nach:

Formel 26 . . . $i_1 = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{r}{b}}$

Da nun nach der Aufgabe im zweiten Stromkreis x Elemente zu b afachen Elementen verbunden sind, somit:

$$a \cdot b = x$$

also: $b = \frac{x}{a}$ ist,

so erhält man für die Stromstärke im zweiten Stromkreis, wenn man diesen Wert für b in Formel 26 einsetzt:

a). $i_1 = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{ar}{x}}$

Nach der Aufgabe sollen die Stromstärken in beiden Stromkreisen einander gleich sein, also ist nach Formel 18 und obiger Gleichung a).

$$\frac{e}{\frac{w}{a}+\frac{ar}{x}} = \frac{ne}{nw+r}$$

oder:

$$nw+r = \frac{nw}{a}+\frac{anr}{x}$$

Durch Multiplikation mit ax ergibt sich:

$$anwx+arx = nwx+a^2nr$$

oder:

$$x(anw+ar-nw) = a^2nr$$

mithin hat man für die Anzahl x der zu je a parallel geschalteten Elemente, welche die gleiche Stromstärke liefern, wie n derselben Elemente in Hintereinanderschaltung:

$$x = \frac{a^2nr}{a(nw+r)-nw}$$

Aufgabe 57. Es ist eine Zinkplatte und eine Kupferplatte, beide von bestimmter und gleicher Grösse gegeben. Dieselben sollen zerschnitten und in vorhandenen Elementgefässen zu Elementen zusammengestellt werden, und es soll mit diesen so erhaltenen Elementen in einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand r gegeben ist, die grösstmögliche Stromstärke erzielt werden. Welches ist die geringste Anzahl von Platten, in welche man jede dieser beiden Platten zerschneiden muss (siehe Erkl. 714)?

Erkl. 714. Bei vorstehender Aufgabe gilt als Voraussetzung, dass die Platten in den gegebenen Elementgefässen in einer ganz bestimmten Entfernung von einander aufgestellt sein müssen, so dass der Widerstand w jedes dieser Elemente nur von der Plattengrösse abhängt.

Auflösung. Angenommen, man habe aus den beiden gegebenen Metallplatten n gleichgrosse Elemente gebildet, deren jedes den Widerstand w besitzt, so hat man für die Anzahl a der parallelen Elemente nach

Formel 28 . . . $a = \sqrt{\frac{nw}{r}}$

und für die Anzahl dieser hintereinander zu schaltenden afachen Elemente nach

Formel 27 . . . $b = \sqrt{\frac{nr}{w}}$

Statt der sich aus Formel 28 ergebenden a parallelen Elemente kann man jedoch ein einziges amal so grosses Element anwenden. Man hat demnach die Platten nicht in $a.b$, sondern nur in b Teile von afacher Grösse zu zerschneiden. Der Widerstand dieser Elemente ist alsdann:

$$w_1 = \frac{w}{a}$$

Die Anzahl dieser Elemente von afacher Grösse ist dann:

$$n = b$$

Setzt man in Gleichung k_1). in Antwort auf Frage 344:

$$\frac{w_1}{a} = \frac{r}{b}$$

dem obigen entsprechend:

$$a = 1$$

so hat man:

$$w_1 = \frac{r}{b}$$

mithin:

$$b\,w_1 = r$$

Man hat somit die beiden Platten jede in soviele Teile zu zerschneiden, dass das Pro-

dukt aus der Anzahl b dieser Teile mit dem Widerstand w_1 der aus diesen Teilen hergestellten Elemente gleich dem gegebenen äusseren Widerstand r ist.

Aufgabe 58. Die vorige Aufgabe soll gelöst werden unter der Voraussetzung, dass

die Grösse der gegebenen beiden Metallplatten = 72 Quadratdecimeter,

der Widerstand eines solchen Elements mit einer Plattengrösse von 1 Quadratdecimeter, $w = 0{,}8$ Ohm,

der gegebene äussere Widerstand $r = 4$ Ohm ist.

Auflösung. Man denke sich die beiden gegebenen Platten in je $n = 72$ gleichgrosse Teile zerschnitten und daraus 72 einzelne Elemente von je 1 Quadratdecimeter Grösse gebildet, so ist der Widerstand jedes einzelnen dieser Elemente $w = 0{,}8$ Ohm.

Um nun zu berechnen, wieviel dieser Elemente hintereinander geschaltet werden müssen, um bei einem äusseren Widerstand $r = 4$ Ohm die grösstmögliche Stromstärke zu erhalten, hat man in

Formel 27 . . . $b = \sqrt{\frac{n\,r}{w}}$

diese Werte für n, r und w einzusetzen, und erhält sonach:

$$b = \sqrt{\frac{72 \cdot 4}{0{,}8}}$$

oder:

$$b = \sqrt{360}$$

oder:

$$b = 18{,}972$$

oder annähernd:

$$b = 19$$

Die Anzahl a der parallel zu schaltenden Elemente ergibt sich nun entweder aus Gleichung a). in Antwort auf Frage 344:

$$a \cdot b = n$$

da $n = 72$

und $b = 19$

zu: $a = \frac{72}{19}$

oder:

a). $a = 3{,}7895$

oder aus:

Formel 28 . . . $a = \sqrt{\frac{n\,r}{r}}$

also:

$$a = \sqrt{\frac{72 \cdot 0{,}8}{4}}$$

oder:

$$a = 3{,}795$$

welcher Wert etwas grösser ist, als der in Gleichung a). erhaltene Wert, weil letzterer unter Abrundung des Wertes b von 18,972 und 19 berechnet wurde.

Man hätte somit je 3,7895 dieser Elemente parallel zu schalten, wodurch man eine Säule von 19 hintereinander geschalteten Elementen erhält.

Statt dessen hat man demnach die gegebenen Platten nicht in 72 Teile von je 1 Quadratdecimeter zu zerschneiden, sondern nur in 19

Teile von je 3,7895 Quadratdecimeter, und erhält dann bei einfacher Hintereinanderschaltung dieser 19 Elemente in einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand $r = 4$ Ohm ist, die grösstmögliche Stromstärke. Der Widerstand jedes dieser 19 Elemente ist nun 3,7895 mal kleiner als derjenige der oben erwähnten 72 Elemente, w ist also:

$$w = \frac{0,8}{3,7895}$$

oder:

$$w = 0,2111$$

Der gesamte wesentliche Widerstand im Stromkreis dieser 19 Elemente ist 19 mal so gross, also gleich 19 . 0,2111 oder gleich 4,01 Ohm, also sehr nahe gleich dem gegebenen äusseren Widerstand ($r = 4$ Ohm). Es ist somit die in Erkl. 561 aufgestellte Bedingung für das Maximum der Stromstärke: „Gleichheit des wesentlichen und des äusseren Widerstands“ sehr nahe erfüllt.

Aufgabe 59. 5 Bunsen-Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft von 1,8 Volt und den Widerstand von 0,7 Ohm besitzt, werden hintereinander geschaltet (zur Säule verbunden); ferner werden 3 Daniell-Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft von 1,2 Volt und den Widerstand von 1,4 Ohm besitzt, ebenfalls zu einer Säule verbunden. Diese beiden Säulen werden mit den gleichnamigen Polen zu einem Stromkreis verbunden, so dass die elektromotorischen Kräfte dieser beiden Säulen einander entgegenwirken. Welche Stromstärke herrscht in diesem Stromkreis, wenn der äussere Widerstand gleich 8 Ohm ist?

Auflösung. Da jedes der 5 Elemente der Bunsen-Säule einen Widerstand von 0,7 Ohm hat, so beträgt der Widerstand dieser Säule 5 . 0,7 oder 3,5 Ohm.

Da ferner jedes der 3 Elemente der Daniell-Säule einen Widerstand von 1,4 Ohm hat, so beträgt der Widerstand dieser zweiten Säule 3 . 1,4 oder 4,2 Ohm.

Die elektromotorische Kraft der Bunsen-Säule beträgt nach der Aufgabe 5 . 1,8 oder 9,0 Volt.

Die elektromotorische Kraft der Daniell-Säule beträgt nach der Aufgabe 3 . 1,2 oder 3,6 Volt.

Da nun die elektromotorischen Kräfte dieser beiden Säulen einander entgegenwirken, so ist die elektromotorische Kraft E im ganzen Stromkreis gleich der Differenz der elektromotorischen Kräfte der beiden Säulen, also:

$$E = 9,0 - 3,6$$

oder: $E = 5,4$ Volt.

Der Widerstand W im ganzen Stromkreis ist gleich der Summe der Widerstände der beiden Säulen und des äusseren Widerstands, also:

$$W = 3,5 + 4,2 + 8$$

oder: $W = 15,7$ Ohm.

Setzt man diese Werte für E und W in

Formel 16 $J = \frac{E}{W}$

so erhält man für die Stromstärke in diesem Stromkreis:

$$J = \frac{5,4}{15,7}$$

oder: $J = 0,344$ Ampère.

Aufgabe 60. Es sind in der in voriger Aufgabe beschriebenen Weise zwei galvanische Säulen gegeneinander geschaltet, so dass die elektromotorischen Kräfte derselben einander entgegenwirken.

Die Anzahl der Elemente der ersten Säule ist n_1,
die Anzahl der Elemente der zweiten Säule ist n_2,
die elektromotorische Kraft jedes Elements der ersten Säule ist e_1,
die elektromotorische Kraft jedes Elements der zweiten Säule ist e_2,
der Widerstand jedes Elements der ersten Säule ist w_1,
der Widerstand jedes Elements der zweiten Säule ist w_2,
der äussere Widerstand des Stromkreises ist r.

Welches ist die Stromstärke J in diesem Stromkreis?

Auflösung. Da jedes Element der zweiten Säule den Widerstand w_2 besitzt, so ist der gesamte Widerstand dieser zweiten, aus n_2 Elementen bestehenden Säule gleich $n_2 w_2$.

Ebenso ist der gesamte Widerstand der ersten Säule gleich $n_1 w_1$.

Nimmt man an, es sei statt der zweiten Säule ein Widerstand in den Stromkreis eingeschaltet, welcher gleich dem Widerstand der zweiten Säule, also gleich $n_2 w_2$ ist, so wäre die Stromstärke in diesem Stromkreis nach Formel 18:

$$\text{a).} \quad . \; . \; . \; J_1 = \frac{n_1 e_1}{n_1 w_1 + n_2 w_2 + r}$$

Nimmt man nun an, es wäre statt der ersten Säule ein Widerstand in den Stromkreis eingeschaltet, welcher gleich dem Widerstand der ersten Säule, also gleich $n_1 w_1$ ist, so wäre die Stromstärke in diesem Stromkreis nach Formel 18:

$$\text{b).} \quad . \; . \; . \; J_2 = \frac{n_1 e_1}{n_1 w_1 + n_2 w_2 + r}$$

Da nun in dem in der Aufgabe gegebenen Stromkreis die elektromotorischen Kräfte e_1 und e_2 gleichzeitig wirken, jedoch in entgegengesetzter Richtung, so ist die Stromstärke J in diesem Stromkreis gleich der Differenz der durch die Gleichungen a). und b). ausgedrückten Stromstärken J_1 und J_2, also:

$$\text{c).} \quad . \; . \; . \; . \; . \; J = J_1 - J_2$$

oder:

$$J = \frac{n_1 e_1}{n_1 w_1 + n_2 w_2 + r} - \frac{n_1 e_1}{n_1 w_1 + n_2 w_2 + r}$$

oder:

$$\text{d).} \quad . \; . \; . \; J = \frac{n_1 e_1 - n_2 e_2}{n_1 w_1 + n_2 w_2 + r}$$

Aufgabe 61. Welches ist die Stromstärke in dem in voriger Aufgabe definierten Stromkreis,

1). wenn die Elemente der beiden Säulen gleiche elektromotorische Kraft besitzen, und

2). wenn ausserdem die Anzahl der Elemente beider Säulen gleich ist?

Auflösung. Sind die elektromotorischen Kräfte der Elemente der beiden Säulen einander gleich, ist also:

$$e_1 = e_2$$

so geht Gleichung d). in voriger Auflösung über in:

$$J = \frac{e_1 (n_1 - n_2)}{n_1 w_1 + n_2 w_2 + r}$$

Ist die Anzahl der Elemente beider Säulen gleich, so geht diese Gleichung über in:

$$J = \frac{n_1 (e_1 - e_2)}{n_1 (w_1 + w_2) + r}$$

Ist hingegen gleichzeitig:

$$e_1 = e_2$$

$$\text{und} \quad n_1 = n_2$$

so ist die Stromstärke $J = 0$.

3). Aufgaben über Stromverzweigungen.

Aufgabe 62. Es ist ein einfach verzweigter Stromkreis gegeben, siehe Fig. 234, in dessen einem Zweig $\overline{aRb}$ sich eine galvanische Säule R befindet, deren elektromotorische Kraft $E = 5{,}7$ Volt, und deren Widerstand $w = 4{,}3$ Ohm ist (wobei der Widerstand der kurzen und dicken Zuleitungsdrähte $\overline{aR}$ und $\overline{bR}$ inbegriffen ist).

Der Widerstand im Zweig $\overline{acb}$ ist $w_1 =$ 3 Ohm,

der Widerstand im Zweig $\overline{adb}$ ist $w_2 =$ 4 Ohm.

Es sollen die Stromstärken

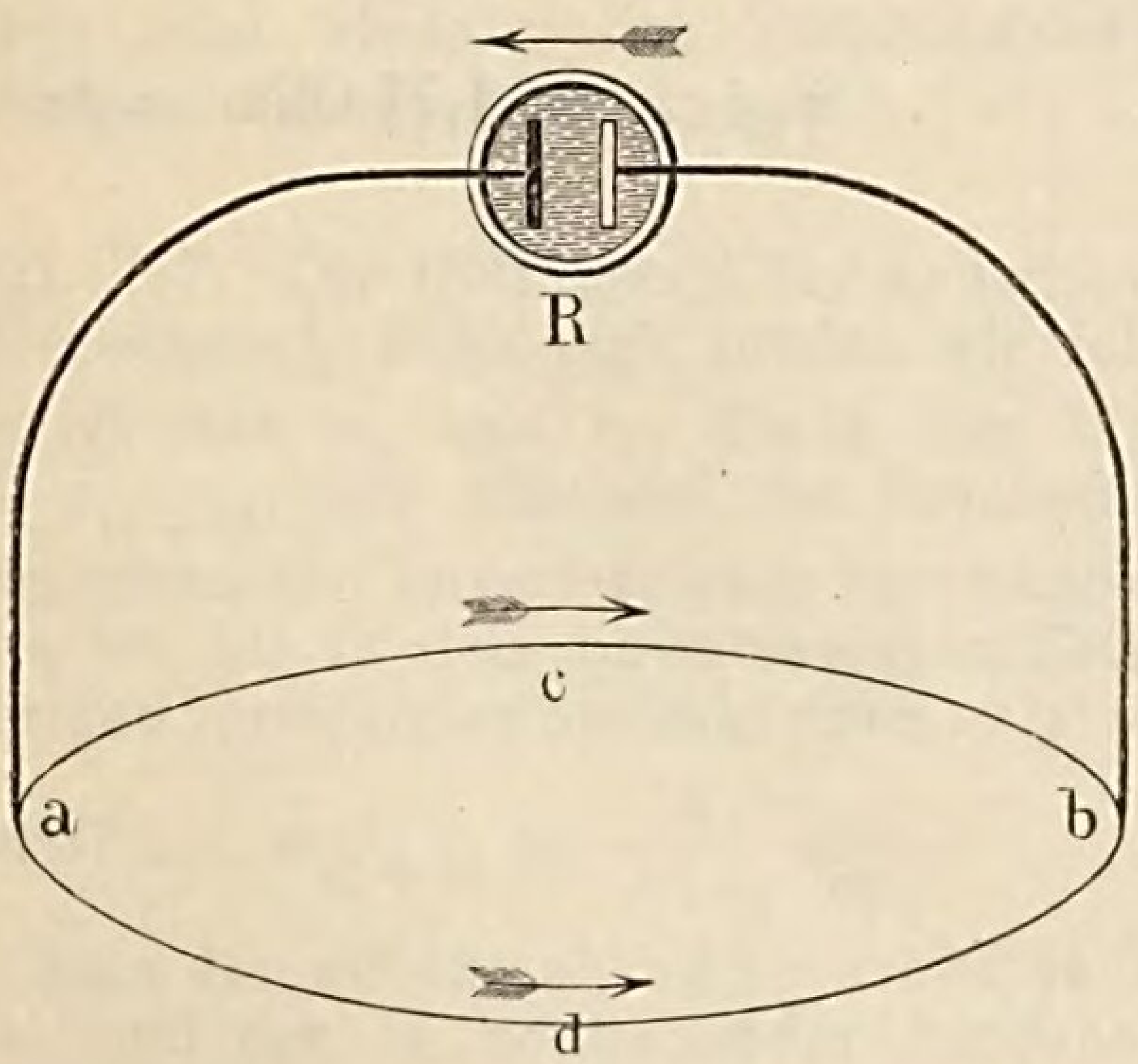
J im Zweig $\overline{aRb}$

J_1 im Zweig $\overline{acb}$

J_2 im Zweig $\overline{adb}$

in Ampère bestimmt werden.

Figur 234.



Erkl. 715. Die Richtigkeit der nebenstehenden Berechnungen kann man prüfen wie folgt: Nach Formel 30ª ist:

$$J = J_1 + J_2$$

Setzt man die in nebenstehenden Gleichungen b). und c). gegebenen Werte von J_1 und J_2 ein, so ergibt sich:

$$J = 0{,}542 + 0{,}406$$

oder: $J = 0{,}948$ Ampère

übereinstimmend mit dem Wert in nebenstehender Gleichung a).

Auflösung. Setzt man in

Formel 33 . . $J = \frac{E\,(w_1 + w_2)}{w\,w_1 + w\,w_2 + w_1\,w_2}$

die in der Aufgabe gegebenen Werte:

$$E = 5{,}7$$
$$w = 4{,}3$$
$$w_1 = 3$$
$$w_2 = 4$$

ein, so erhält man für die Stromstärke im Zweig $\overline{aRb}$:

$$J = \frac{5{,}7\,(3 + 4)}{4{,}3 \,.\, 3 + 4{,}3 \,.\, 4 + 3 \,.\, 4}$$

oder:

$$J = \frac{39{,}9}{42{,}1}$$

oder:

a). . . $J = 0{,}948$ Ampère.

Setzt man diese Werte in

Formel 34 . . $J_1 = \frac{E\,w_2}{w\,w_1 + w\,w_2 + w_1\,w_2}$

so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$:

$$J_1 = \frac{5{,}7 \,.\, 4}{42{,}1}$$

oder:

$$J_1 = \frac{22{,}8}{42{,}1}$$

oder:

b). $J_1 = 0{,}542$ Ampère.

Setzt man diese Werte in

Formel 35 . . $J_2 = \frac{E\,w_1}{w\,w_1 + w\,w_2 + w_1\,w_2}$

so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{adb}$:

$$J_2 = \frac{5{,}7 \,.\, 3}{42{,}1}$$

oder:

$$J_2 = \frac{17{,}1}{42{,}1}$$

oder:

c). $J_2 = 0{,}406$ Ampère

(siehe Erkl. 715).

Aufgabe 63. Wieviel Ohm beträgt der gesamte Widerstand W in dem in voriger Aufgabe definierten einfach verzweigten Stromkreis?

Auflösung. Setzt man in

Formel 36 . . $W = w + \frac{w_1\,w_2}{w_1 + w_2}$

die in voriger Aufgabe gegebenen Werte für w, w_1, w_2 ein, so erhält man für den gesamten Widerstand in dem ganzen Stromkreis:

$$W = 4{,}3 + \frac{3 \cdot 4}{3 + 4}$$

oder:

$$W = 6{,}01 \text{ Ohm}.$$

Aufgabe 64. Die beiden Zweige $\overline{acb}$ und $\overline{adb}$ des in Aufgabe 62 definierten einfach verzweigten Stromkreises sollen durch einen einzigen Leiter ersetzt werden. Welche Grösse muss der Widerstand dieses einzigen Leiters besitzen, damit die Stromstärke in dem nunmehr unverzweigten Stromkreis die gleiche ist, wie die Stromstärke J in dem in Aufgabe 62 definierten verzweigten Stromkreis?

Auflösung. Setzt man in

Formel 37 . . $w_{(1+2)} = \dfrac{w_1\, w_2}{w_1 + w_2}$

die in Aufgabe 62 gegebenen Werte:

$$w_1 = 3$$
$$w_2 = 4$$

ein, so erhält man für den Widerstand des Leiters, welcher die beiden Zweigleiter $\overline{acb}$ und $\overline{adb}$ ersetzt:

$$w_{(1+2)} = \frac{3 \cdot 4}{3 + 4}$$

oder:

a). $w_{(1+2)} = 1{,}71$ Ohm (s. Erkl. 716).

Erkl. 716. Die Richtigkeit des in nebenstehender Gleichung a). gegebenen Werts kann man prüfen wie folgt:

Setzt man in

Formel 17 $J = \dfrac{E}{w + r}$

der Aufgabe 62 entsprechend:

$$E = 5{,}7$$
$$\text{und } w = 4{,}3$$

ferner, da in dieser Formel r den äusseren Widerstand, welcher in nebenstehender Gleichung a). durch $w_{(1+2)}$ bezeichnet ist, bedeutet:

$$r = 1{,}71$$

so erhält man für die Stromstärke in dem in vorstehender Aufgabe definierten unverzweigten Stromkreis:

$$J = \frac{5{,}7}{4{,}3 + 1{,}71}$$

oder:

$$J = 0{,}948 \text{ Ampère}$$

übereinstimmend mit dem in Gleichung a). in Auflösung der Aufgabe 62 gegebenen Wert.

Aufgabe 65. Ein galvanisches Element ist durch einen unverzweigten Leiter geschlossen, dessen Widerstand gleich 3,2 Ohm ist. Dieser Leiter soll durch zwei Leiter ersetzt werden, so dass der Stromkreis ein einfach verzweigter wird, und zwar sollen diese beiden Leiter den gleichen Widerstand besitzen. Wie gross muss der Widerstand jedes dieser beiden Zweigleiter sein, damit die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des verzweigten Stromkreises die gleiche ist, wie in dem vorherigen unverzweigten Stromkreis?

Auflösung. In

Formel 37 . . $w_{(1+2)} = \dfrac{w_1\, w_2}{w_1 + w_2}$

bedeutet $w_{(1+2)}$ den Widerstand des einfachen Leiters im ersten unverzweigten Stromkreis; es ist daher:

$$w_{(1+2)} = 3{,}2$$

Nach der Aufgabe sollen die beiden Zweigleiter des zweiten Stromkreises einander gleich, also:

$$w_1 = w_2$$

sein. Somit geht Formel 37 über in:

$$w_{(1+2)} = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}$$

oder:

$$w_{(1+2)} = \frac{w_1}{2}$$

und hieraus erhält man für den Widerstand, welchen jeder der beiden Zweigleiter haben muss, damit die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des verzweigten Stromkreises die gleiche bleibt wie in dem ersten unverzweigten Stromkreis:

$$w_1 = 2\, w_{(1+2)}$$

Aufgabe 66. Eine galvanische Säule, deren gesamte elektromotorische Kraft gleich 25 Volt und deren gesamter wesentlicher Widerstand gleich 4,3 Ohm ist, wird durch einen Leiter A, dessen Widerstand gleich 5 Ohm ist, geschlossen. Es soll nun ein zweiter Leiter neben den ersten geschaltet werden. Wie gross muss der Widerstand dieses zweiten Leiters B sein, damit die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des Stromkreises doppelt so gross wird, und welches sind alsdann die Stromstärken in den beiden Zweigen A und B?

Erkl. 717. Die Richtigkeit der nebenstehenden Berechnung kann man prüfen wie folgt:

Ersetzt man w_1 und w_2 durch den Widerstand $w_{(1+2)}$, bei welchem die Stromstärken in dem nunmehr unverzweigten Stromkreis die gleiche ist, als in dem unverzweigten Teil des vorherigen verzweigten Stromkreises, so ist nach:

Formel 37 . . $w_{(1+2)} = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}$

wenn man den nebenstehend berechneten Wert für w_2 und den in vorstehender Aufgabe gegebenen Wert für w_1 einsetzt:

$$w_{(1+2)} = \frac{5 \,.\, 0{,}377}{5 + 0{,}377}$$

oder:

$$w_{(1+2)} = 0{,}35 \text{ Ohm.}$$

Setzt man nun in

Formel 17 $J = \frac{E}{w + r}$

der Aufgabe entsprechend:

$$E = 25$$
$$w = 4{,}3$$

und, da in Formel 17 r den äusseren Widerstand bedeutet, also r gleichbedeutend ist mit $w_{(1+2)}$:

$$r = 0{,}35$$

so erhält man für die Stromstärken in diesem unverzweigten Stromkreis:

$$J = \frac{25}{4{,}3 + 0{,}35}$$

oder:

Auflösung. Die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis ergibt sich aus

Formel 17 $J = \frac{E}{w + r}$

wenn man der Aufgabe entsprechend:

$$E = 25$$
$$w = 4{,}3$$
$$r = 5$$

setzt, zu:

$$J = \frac{25}{4{,}3 + 5}$$

oder:

$$J = 2{,}688 \text{ Ampère.}$$

Zur Berechnung des Widerstands des Leiters B im verzweigten Stromkreis setzt man in

Formel 33 . . $J = \frac{E\,(w_1 + w_2)}{w\,w_1 + w\,w_2 + w_1 w_2}$

der Aufgabe entsprechend für die Stromstärke im unverzweigten Teil des verzweigten Stromkreises:

$$J = 2 \,.\, 2{,}688$$

oder:

a). $J = 5{,}376$

ferner:

$$E = 25;$$

für den Widerstand des Leiters A:

$$w_1 = 5$$

für den wesentlichen Widerstand (den Widerstand des unverzweigten Teils des Stromkreises):

$$w = 4{,}3$$

man setzt also:

$$5{,}376 = \frac{25\,(5 + w_2)}{4{,}3 \,.\, 5 + 4{,}3\,w_2 + 5\,w_2}$$

oder:

$$5{,}376 = \frac{125 + 25\,w_2}{21{,}5 + 9{,}3\,w_2}$$

oder:

$$115{,}584 + 49{,}997\,w_2 = 125 + 25\,w_2$$

oder:

$$24{,}997\,w_2 = 9{,}416$$

$$J = 5{,}376 \text{ Ampère}$$

übereinstimmend mit der in der Aufgabe verlangten, in nebenstehender Gleichung a). gegebenen Stromstärke in dem unverzweigten Teil des vorherigen verzweigten Stromkreises.

und hieraus erhält man für den Widerstand des Leiters B:

$$w_2 = \frac{9{,}416}{24{,}997}$$

oder:

$$w_2 = 0{,}377 \text{ Ohm}$$ (siehe Erkl. 717).

Aufgabe 67. Welches sind die Stromstärken in dem Leiter A und in dem Leiter B des in voriger Aufgabe definierten einfach verzweigten Stromkreises?

Auflösung. Die Stromstärke J_1 in dem Leiter A ergibt sich aus

Formel 34 . . $$J_1 = \frac{E w_2}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

wenn man der vorigen Aufgabe entsprechend:

$$E = 25$$
$$w = 4{,}3$$
$$w_1 = 5 \text{ } (= r, \text{ siehe Aufl. d. vor. Aufg.})$$
$$w_2 = 0{,}377$$

setzt, zu:

$$J_1 = \frac{25 \,.\, 0{,}377}{4{,}3 \,.\, 5 + 4{,}3 \,.\, 0{,}377 + 5 \,.\, 0{,}377}$$

oder:

$$J_1 = \frac{9{,}425}{21{,}5 + 1{,}6211 + 1{,}885}$$

oder:

$$J_1 = \frac{9{,}425}{25{,}006}$$

oder:

$$J_1 = 0{,}377 \text{ Ampère},$$

und ebenso ergibt sich die Stromstärke J_2 in dem Leiter B aus

Formel 35 . . $$J_2 = \frac{E w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

wenn man obige Werte einsetzt, zu:

$$J_2 = \frac{25 \,.\, 5}{4{,}3 \,.\, 5 + 4{,}3 \,.\, 0{,}377 + 5 \,.\, 0{,}377}$$

oder:

$$J_2 = \frac{125}{25{,}006}$$

oder:

$$J_2 = 4{,}999 \text{ Ampère}.$$

Setzt man diese Werte für J_1 und J_2 in

Formel 30ª . . . $$J = J_1 + J_2$$

ein, so erhält man:

$$J = 0{,}377 + 4{,}999$$

oder: $$J = 5{,}376 \text{ Ampère},$$

übereinstimmend mit dem in der Auflösung der vorigen Aufgabe gefundenen Wert.

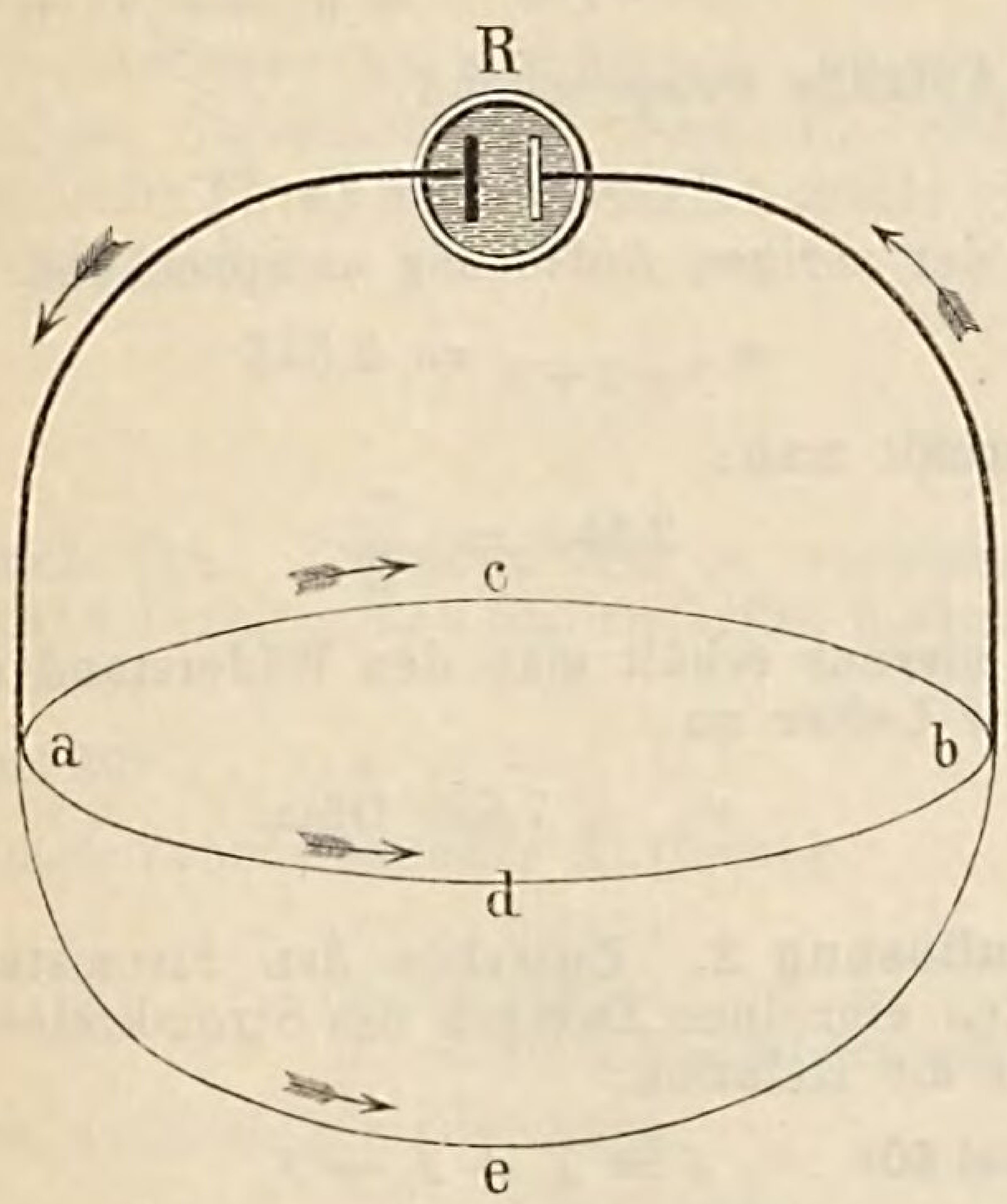
Aufgabe 68. Eine galvanische Säule R, siehe Fig. 235, befindet sich in einem Stromkreis, in welchem zwischen den Punkten a und b drei parallele Leiter (s. Erkl. 565) abgezweigt sind.

Der wesentliche Widerstand der Säule ist 4 Ohm,

Auflösung. Nach der Aufgabe ist der Widerstand des die Säule enthaltenden Zweigs $\overline{aRb}$:

der Widerstand des Leiters von R bis a ist 1 Ohm,
der Widerstand des Leiters von R bis b ist 2 Ohm,
der Widerstand des Zweiges $\overline{acb}$ ist $w_1 =$ 6 Ohm,
der Widerstand des Zweiges $\overline{adb}$ ist $w_2 =$ 8 Ohm,
der Widerstand des Zweiges $\overline{aeb}$ ist $w_3 =$ 10 Ohm.
Welches ist der Gesamtwiderstand des Stromkreises?

Figur 235.



$$w = 4 + 1 + 2$$

oder: $w = 7$ Ohm.

Setzt man in

Formel 42: $W = w + \frac{w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$

diesen Wert für w und die in der Aufgabe gegebenen Werte für w_1, w_2 und w_3 ein, so erhält man für den Gesamtwiderstand des Stromkreises:

$$W = 7 + \frac{6 . 8 . 10}{6 . 8 + 6 . 10 + 8 . 10}$$

oder:

$$W = 7 + \frac{480}{188}$$

oder:

$$W = 7 + 2{,}553$$

oder:

$$W = 9{,}553 \text{ Ohm.}$$

Aufgabe 69. Welches ist der gesamte äussere Widerstand des in voriger Aufgabe definierten Stromkreises?

Auflösung. Der gesamte äussere Widerstand des in voriger Aufgabe definierten Stromkreises ist gleich der Differenz aus dem Gesamtwiderstand W und dem wesentlichen Widerstand der Säule, also gleich $9{,}553 - 4 = 5{,}553$ Ohm.

Aufgabe 70. Die drei parallelen Zweige des in Aufgabe 68 definierten Stromkreises sollen durch einen einzigen Leiter ersetzt werden.

Welches muss der Widerstand desselben sein, damit die Stromstärke in dem nunmehr unverzweigten Stromkreis die gleiche bleibt wie in dem Teil $\overline{aRb}$ des vorherigen Stromkreises?

Auflösung. Setzt man in

Formel 43: $w_{(1+2+3)} = \frac{w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$

die in Aufgabe 68 gegebenen Werte:

$$w_1 = 6$$
$$w_2 = 8$$
$$w_3 = 10$$

ein, so erhält man für den Ersatzleiter der drei parallelen Leiter den Widerstand:

$$w_{(1+2+3)} = \frac{6.8.10}{6.8+6.10+8.10}$$

oder:

$$w_{(1+2+3)} = 2{,}553 \text{ Ohm.}$$

Aufgabe 71. Der in voriger Aufgabe berechnete einfache Ersatzleiter soll wiederum durch drei parallele Leiter ersetzt werden, welche jedoch alle drei den gleichen Widerstand besitzen. Wie gross muss der Widerstand eines jeden dieser Leiter sein, damit die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des Stromkreises die gleiche bleibt?

Auflösung 1. Setzt man in

Formel 43: $w_{(1+2+3)} = \frac{w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$

der Aufgabe entsprechend:

$$w_1 = w_2 = w_3$$

und der vorigen Auflösung entsprechend:

$$w_{(1+2+3)} = 2{,}553$$

so erhält man:

$$2{,}553 = \frac{w_1}{3}$$

und hieraus erhält man den Widerstand eines dieser Leiter zu:

$$w_1 = 7{,}659 \text{ Ohm.}$$

Auflösung 2. Zwischen den Stromstärken in den einzelnen Zweigen des Stromkreises besteht die Relation:

Formel 30b . . $J = J_1 + J_2 + J_3$

und nach Gleichung b). in Antwort auf Frage 350 zwischen diesen Stromstärken und den bezüglichen Widerständen die fernere Relation:

a). . . . $J_1 : J_2 : J_3 = \frac{1}{w_1} : \frac{1}{w_2} : \frac{1}{w_3}$

Da nun nach der Aufgabe:

$$w_1 = w_2 = w_3 \text{ ist,}$$

so ist nach obiger Gleichung a). auch:

b). $J_1 = J_2 = J_3$

Demnach ist nach Formel 30b auch:

$$J = 3J_1$$

mithin:

c). $J_1 = \frac{J}{3}$

Da nun auch:

$$J : J_1 = \frac{1}{w_{(1+2+3)}} : \frac{1}{w_1}$$

ist, so ist nach Gleichung c).:

$$J : \frac{J}{3} = \frac{1}{w_{(1+2+3)}} : \frac{1}{w_1}$$

also:

$$3w_{(1+2+3)} = w_1$$

Da nun ferner nach der Aufgabe:

$$w_{(1+2+3)} = 2{,}553 \text{ ist,}$$

so ist: $w_1 = 3 \,.\, 2{,}553$

oder: $w_1 = 7{,}659$ Ohm.

Aufgabe 72. Welches sind die Stromstärken:

J im Zweig $\overline{aRb}$ (s. Fig. 235)

J_1 „ „ $\overline{acb}$

J_2 „ „ $\overline{adb}$

J_3 „ „ $\overline{aeb}$

des in Aufgabe 68 definierten doppelt verzweigten Stromkreises, wenn die elektromotorische Kraft der erwähnten Säule gleich 10 Volt ist?

Auflösung. Setzt man in **Formel 38**:

$$J = \frac{E(w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3)}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$$

der obigen Aufgabe entsprechend:

$$E = 10$$

und Aufgabe 68 entsprechend:

$$w = 7 \text{ (s. Auflös. d. Aufg. 68)}$$
$$w_1 = 6$$
$$w_2 = 8$$
$$w_3 = 10$$

so erhält man für die Stromstärke im Zweig $\overline{aRb}$ (siehe Figur 235):

$$J = \frac{10\,(6 \,.\, 8 + 6 \,.\, 10 + 8 \,.\, 10)}{7 \,.\, 6 \,.\, 8 + 7 \,.\, 6 \,.\, 10 + 7 \,.\, 8 \,.\, 10 + 6 \,.\, 8 \,.\, 10}$$

oder:

$$J = \frac{1880}{1706}$$

oder:

$$J = 1{,}0468 \text{ Ampère.}$$

Setzt man diese Werte in **Formel 39**:

$$J_1 = \frac{E w_2 w_3}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$$

so erhält man für die Stromstärke im Zweig $\overline{acb}$:

$$J_1 = \frac{10 \,.\, 8 \,.\, 10}{1796}$$

oder:

$$J_1 = 0{,}4454 \text{ Ampère.}$$

Setzt man diese Werte in **Formel 40**:

$$J_2 = \frac{E w_1 w_3}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$$

so erhält man für die Stromstärke im Zweig $\overline{adb}$:

$$J_2 = \frac{10 \,.\, 6 \,.\, 10}{1796}$$

oder:

$$J_2 = 0{,}3341 \text{ Ampère.}$$

Setzt man diese Worte endlich in **Formel 41**:

$$J_3 = \frac{E w_1 w_2}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$$

Erkl. 718. Zwischen den in vorstehender Aufgabe bezeichneten Stromstärken besteht die Relation:

Formel 30b . . $J = J_1 + J_2 + J_3$

da nach nebenstehender Auflösung:

$$J_1 = 0{,}4454$$
$$J_2 = 0{,}3341$$
$$J_3 = 0{,}2673 \text{ Ampère ist,}$$

so ist nach obiger Gleichung:

$$J = 1{,}0468 \text{ Ampère,}$$

übereinstimmend mit dem in nebenstehender Auflösung für J gefundenen Wert.

Erkl. 719. Nach Auflösung der Aufgabe 68 ist der gesamte Widerstand des in vorstehender Aufgabe erwähnten Stromkreises $W = 9{,}553$ Ohm.

Setzt man in

Formel 16 $J = \frac{E}{W}$

dementsprechend:

$$W = 9{,}553$$

und der vorstehenden Aufgabe entsprechend:

$$E = 10$$

so erhält man für die Stromstärke im unverzweigten Teil des Stromkreises:

$$J = \frac{10}{9{,}553}$$

oder:

$$J = 1{,}0468 \text{ Ampère,}$$

übereinstimmend mit dem in nebenstehender Auflösung für J gefundenen Wert.

so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{aeb}$:

$$J_3 = \frac{10 \cdot 6 \cdot 8}{1796}$$

oder:

$$J_2 = 0{,}2673 \text{ Ampère}$$

(siehe die Erkl. 718 und 719).

Aufgabe 73. In einem doppelt verzweigten Stromkreis sind die Widerstände der drei Zweigleiter $w_1 = 4$, $w_2 = 7$ und $w_3 = 11$ Ohm. Die beiden ersten Zweigleiter sollen nun durch einen einzigen Zweigleiter ersetzt werden. Wie gross muss der Widerstand dieses Ersatzleiters sein, damit die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des nunmehr einfach verzweigten Stromkreises die gleiche bleibt?

Auflösung. Denkt man sich die drei Zweigleiter des ersten Stromkreises durch einen einzigen Ersatzleiter ersetzt, ohne dass sich die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des Stromkreises ändert, so hat man für den Widerstand dieses Ersatzleiters die Relation:

Formel 43: $$w_{(1+2+3)} = \frac{w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$$

Setzt man der Aufgabe entsprechend:

$$w_1 = 4$$
$$w_2 = 7$$
$$w_3 = 11$$

so ergibt sich:

$$w_{(1+2+3)} = \frac{4 \cdot 7 \cdot 11}{4 \cdot 7 + 4 \cdot 11 + 7 \cdot 11}$$

oder:

$$w_{(1+2+3)} = \frac{308}{149}$$

oder:

a). $w_{(1+2+3)} = 2{,}0671$ Ohm.

Denkt man sich in gleicher Weise die beiden Zweigleiter des zweiten einfach verzweigten Stromkreises durch einen einzigen Leiter ersetzt, ohne dass sich die Stromstärke im unverzweigten Teil dieses Stromkreises ändert, so hat man für den Widerstand dieses Ersatzleiters die Relation:

Formel 37 . . $$w'_{(1+2)} = \frac{w'_1 w'_2}{w'_1 + w'_2}$$

Nach der Aufgabe ist nun:

$$w'_1 = w_3 = 11$$

und nach obiger Gleichung a).:

$$w'_{(1+2)} = w_{(1+2+3)} = 2{,}0671$$

und w'_2 ist der gesuchte Widerstand des in der Aufgabe erwähnten Ersatzleiters; es ist somit:

$$2{,}0671 = \frac{11 \cdot w'_2}{11 + w'_2}$$

Durch Multiplikation mit $11 + w'_2$ erhält man:

$$11 \cdot 2{,}0671 + 2{,}0671\, w'_2 = 11\, w'_2$$

und hieraus erhält man:

$$8{,}9329\, w'_2 = 22{,}7381$$

mithin ist:

$$w'_2 = 2{,}55 \text{ Ohm.}$$

Aufgabe 74. Welches ist in Ampère die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des in voriger Antwort definierten Stromkreises, wenn die elektromotorische Kraft des Rheomotors gleich 1 Volt, und wenn der Widerstand des den Rheomotor enthaltenden unverzweigten Teils gleich 1 Ohm ist?

Auflösung 1. Für die Stromstärke im unverzweigten Teil des in voriger Aufgabe definierten doppelt verzweigten Stromkreises hat man die Relation:

Formel 38:

$$J = \frac{E(w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3)}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$$

Setzt man in dieser Formel der Aufgabe entsprechend:

$$E = 1$$
$$w = 1$$
$$w_1 = 4$$
$$w_2 = 7$$
$$w_3 = 11$$

so hat man für diese Stromstärke:

$$J = \frac{1(4.7 + 4.11 + 7.11)}{1.4.7 + 1.4.11 + 1.7.11 + 4.7.11}$$

oder:

$$J = \frac{149}{457}$$

oder:

$$J = 0{,}326 \text{ Ampère.}$$

Auflösung 2. Nach voriger Aufgabe bleibt die Stromstärke J im unverzweigten Teil des Stromkreises die gleiche, wenn die beiden Zweigwiderstände $w_1 = 4$ und $w_2 = 7$ durch einen einzigen Zweigwiderstand $w'_2 = 2{,}55$ Ohm ersetzt werden. In diesem nunmehr einfach verzweigten Stromkreis hat man für die Stromstärke J die Relation:

Formel 33 . . $J = \frac{E(w'_1 + w'_2)}{w w'_1 + w w'_2 + w'_1 w'_2}$

Setzt man hierin:

$$w'_1 = w_3 = 11$$
$$w = 1$$
$$w'_2 = 2{,}55$$
$$E = 1$$

so ergibt sich:

$$J = \frac{1(11 + 2{,}55)}{1.11 + 1.2{,}55 + 11.2{,}55}$$

oder:

$$J = \frac{13{,}55}{41{,}60}$$

oder:

$$J = 0{,}326 \text{ Ampère.}$$

Auflösung 3. Werden die Zweigleiter durch einen einfachen Leiter ersetzt, so bleibt nach Aufgabe 73 die Stromstärke die gleiche, wenn:

$$w'_{(1+2)} = w_{(1+2+3)} = 2{,}0671 \text{ Ohm ist.}$$

Für die Stromstärke in diesem unverzweigten Stromkreis gilt alsdann die Relation:

Formel 17 $J = \frac{E}{w + r}$

Setzt man in dieser Formel der Aufgabe entsprechend:

$$E = 1$$
$$w = 1$$
$$r = w'_{(1+2)} = w_{(1+2+3)} = 2{,}0671$$

so ergibt sich die Stromstärke in diesem unverzweigten Stromkreis zu:

$$J = \frac{1}{1 + 2{,}0671}$$

oder:

$$J = 0{,}326 \text{ Ampère.}$$

Aufgabe 75. In einem einfach verzweigten Stromkreis, siehe Figur 236, befinden sich zwei galvanische Elemente R_1 und R_2, und zwar R_1 in dem Zweig $\overline{aR_1b}$ und R_2 in dem Zweig $\overline{aR_2b}$, während der Zweig $\overline{acb}$ kein Element erhält.

Die elektromotorischen Kräfte von R_1 bezw. R_2 sind $E_1 = 1{,}9$ Volt bezw. $E_2 = 1{,}2$ Volt,

der Widerstand des Zweigs $\overline{aR_1b}$ ist $w_1 = 0{,}8$ Ohm,

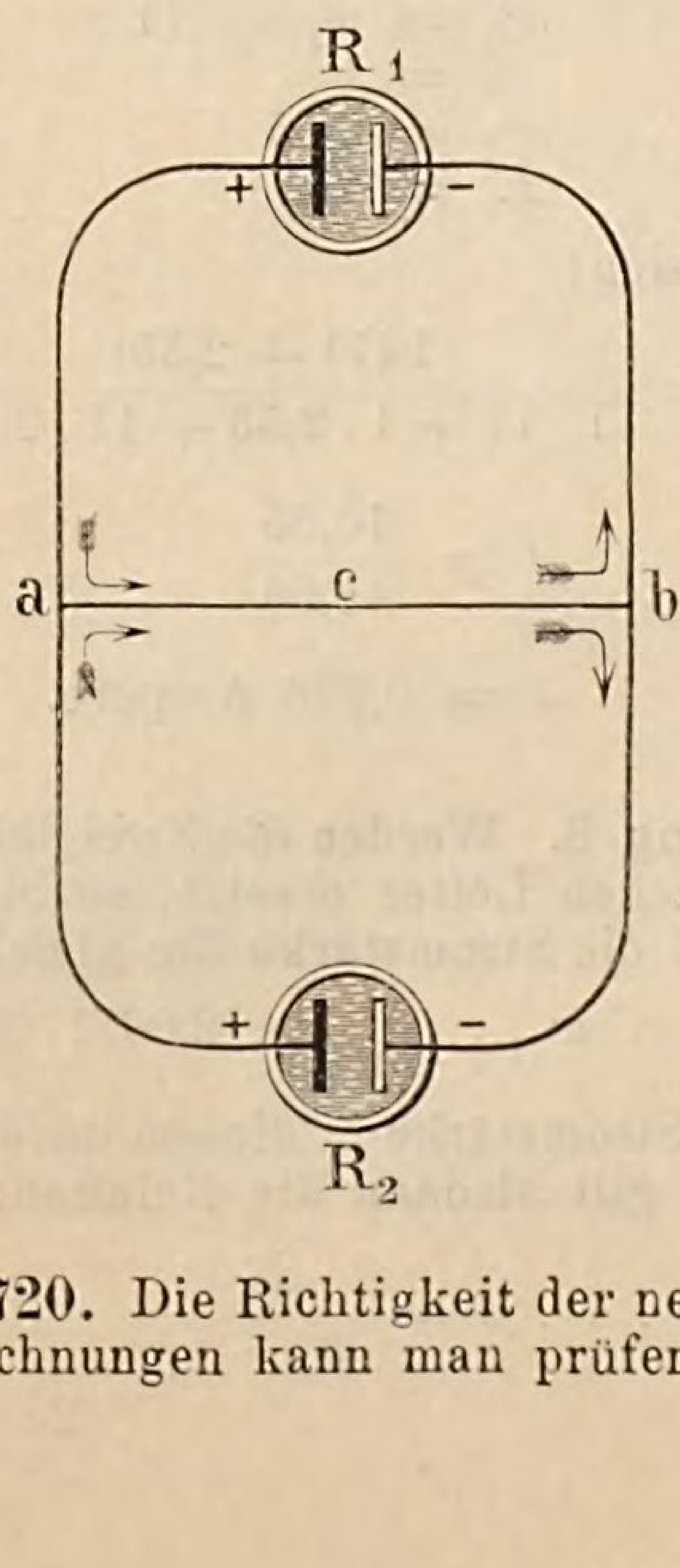
der Widerstand des Zweigs $\overline{aR_2b}$ ist $w_2 = 0{,}6$ Ohm,

der Widerstand des Zweigs $\overline{acb}$ ist $w = 0{,}3$ Ohm.

Die Elemente sind mit den gleichnamigen Polen verbunden.

Welches sind in Ampère die Stromstärken in den drei Zweigen dieses Stromkreises?

Figur 236.



Auflösung. Setzt man in

Formel 44 . . $J = \dfrac{E_1 w_2 + E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

der Aufgabe entsprechend:

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$
$$w = 0{,}3$$
$$w_1 = 0{,}6$$
$$w_2 = 0{,}8$$

so erhält man für die Stromstärke im Zweig $\overline{acb}$:

$$J = \frac{1{,}9 \,.\, 0{,}8 + 1{,}2 \,.\, 0{,}6}{0{,}3 \,.\, 0{,}6 + 0{,}3 \,.\, 0{,}8 + 0{,}6 \,.\, 0{,}8}$$

oder:

$$J = 2{,}489 \text{ Ampère.}$$

Zur Bestimmung der Stromstärke in dem Zweig $\overline{aR_1b}$ setzt man in

Formel 45 . . $J_1 = \dfrac{E_1 (w + w_2) - E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

diese Werte ein; man setzt also:

$$J_1 = \frac{1{,}9\,(0{,}3 + 0{,}8) - 1{,}2 \,.\, 0{,}3}{0{,}3 \,.\, 0{,}6 + 0{,}3 \,.\, 0{,}8 + 0{,}6 \,.\, 0{,}8}$$

woraus sich diese Stromstärke zu:

$$J_1 = 1{,}922 \text{ Ampère ergibt.}$$

Zur Bestimmung der Stromstärke in dem Zweig $\overline{aR_2b}$ setzt man in

Formel 47 . . $J_2 = \dfrac{E_2 (w + w_1) - E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

diese Werte ein; man setzt also:

$$J_2 = \frac{1{,}2\,(0{,}3 + 0{,}6) - 1{,}9 \,.\, 0{,}3}{0{,}3 \,.\, 0{,}6 + 0{,}3 \,.\, 0{,}8 + 0{,}6 \,.\, 0{,}8}$$

woraus sich diese Stromstärke zu:

$J_2 = 0{,}567$ Ampère ergibt (siehe Erkl. 720).

Erkl. 720. Die Richtigkeit der nebenstehenden Berechnungen kann man prüfen wie folgt:

Setzt man in

Formel 30a . . . $J = J_1 + J_2$

nebenstehender Auflösung entsprechend:

$$J_1 = 1{,}922$$
$$\text{und } J_2 = 0{,}567 \text{ Ampère,}$$

so erhält man:

$$J = 1{,}922 + 0{,}567$$
$$\text{oder: } J = 2{,}489 \text{ Ampère,}$$

übereinstimmend mit dem in nebenstehender Auflösung für J erhaltenen Wert.

Aufgabe 76. Welchen Widerstand muss man bei dem in voriger Aufgabe definierten Stromkreis in den Zweig $\overline{acb}$ hinzuschalten, damit der Zweig $\overline{aR_2b}$ stromlos wird?

Auflösung. Damit der Zweig $\overline{aR_2b}$ stromlos, also:

$$J_2 = 0$$

wird, muss in

Formel 47 . . $J_2 = \dfrac{E_2(w + w_1) - E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

a). $E_2(w + w_1) = E_1 w$ sein.

In dieser Gleichung a). ist nach der Aufgabe w zu bestimmen. Setzt man die in voriger Aufgabe gegebenen Werte:

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$
$$w_1 = 0{,}6$$

in obige Gleichung a). ein, so erhält man:

$$1{,}2(w + 0{,}6) = 1{,}9\,w$$

oder:

$$(1{,}9 - 1{,}2)\,w = 0{,}72$$

und hieraus erhält man für den Widerstand des Zweigs $\overline{acb}$, welcher erforderlich ist, damit der Zweig $\overline{aR_2b}$ stromlos wird:

$$w = \frac{0{,}72}{0{,}70}$$

oder:

$$w = 1{,}0285 \text{ Ohm.}$$

Da nun der Widerstand in dem Zweig $\overline{acb}$ nach voriger Aufgabe 0,3 Ohm betrug, so hat man $1{,}0285 - 0{,}3 = 0{,}7285$ Ohm Widerstand in den Zweig $\overline{acb}$ hinzuzuschalten, damit der Zweig $\overline{aR_2b}$ stromlos wird.

Aufgabe 77. Welches sind die Stromstärken in den Zweigen $\overline{acb}$ und $\overline{aR_1b}$ des in Aufgabe 75 definierten Stromkreises, wenn der Widerstand des Zweigs $\overline{acb}$ $w = 1{,}0285$ Ohm ist (siehe vorige Auflösung)?

Auflösung. Setzt man die in Aufgabe 75 gegebenen Werte:

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$
$$w_1 = 0{,}6$$
$$w_2 = 0{,}8$$

und den in nebenstehender Aufgabe gegebenen Wert:

$$w = 1{,}0285$$

in

Erkl. 721. Aus nebenstehender Auflösung ergibt sich, dass die Stromstärken in den Zweigen $\overline{acb}$ und $\overline{aR_1b}$ einander gleich sind. Nach voriger Auflösung ist für den in vorstehender Aufgabe gegebenen Wert des Widerstands im Zweig $\overline{acb}$, nämlich für

$$w = 1{,}0285 \text{ Ohm}$$

der Zweig $\overline{aR_2b}$ stromlos, d. h.:

$$J_2 = 0$$

Nach Formel 30[a] ist nun im allgemeinen:

$$J = J_1 + J_2$$

also muss in dem hier gegebenen Fall, da $J_2 = 0$ ist,

$$J = J_1 \text{ sein,}$$

womit die in nebenstehender Auflösung für J und J_1 berechneten Werte übereinstimmen.

Formel 44 . . $J = \dfrac{E_1 w_2 + E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$:

$$J = \frac{1{,}9 \,.\, 0{,}8 + 1{,}2 \,.\, 0{,}6}{1{,}0285 \,.\, 0{,}6 + 1{,}0285 \,.\, 0{,}8 + 0{,}6 \,.\, 0{,}8}$$

oder:

$$J = 1{,}167 \text{ Ampère.}$$

Setzt man ferner diese Werte in

Formel 45 . . $J_1 = \dfrac{E_1 (w + w_2) - E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{aR_1b}$:

$$J_1 = \frac{1{,}9\,(1{,}0285 + 0{,}8) - 1{,}2 \,.\, 1{,}0285}{1{,}0285 \,.\, 0{,}6 + 1{,}0285 \,.\, 0{,}8 + 0{,}6 \,.\, 0{,}8}$$

oder:

$$J_1 = \frac{2{,}24}{1{,}92}$$

oder:

$J_1 = 1{,}167$ Ampère (siehe Erkl. 721).

Aufgabe 78. Welchen Widerstand muss man in den Zweig $\overline{acb}$ des in Aufgabe 75 definierten Stromkreises hinzuschalten, damit der Zweig $\overline{aR_1b}$ stromlos wird?

Auflösung. Damit der Zweig $\overline{aR_1b}$ stromlos, also:

$$J_1 = 0$$

wird, muss in

Formel 45 . . $J_1 = \dfrac{E_1 (w + w_2) - E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

a). $E_1 (w + w_2) = E_2 w$ sein.

In dieser Gleichung a). ist nach der Aufgabe w zu bestimmen. Setzt man die in Aufgabe 75 gegebenen Werte:

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$
$$w_2 = 0{,}8$$

in obige Gleichung a). ein, so erhält man:

$$1{,}9\,(w + 0{,}8) = 1{,}2\,w$$

oder:

$$1{,}9\,w + 1{,}52 = 1{,}2\,w$$

mithin:

$$(1{,}9 - 1{,}2)\,w = -1{,}52$$

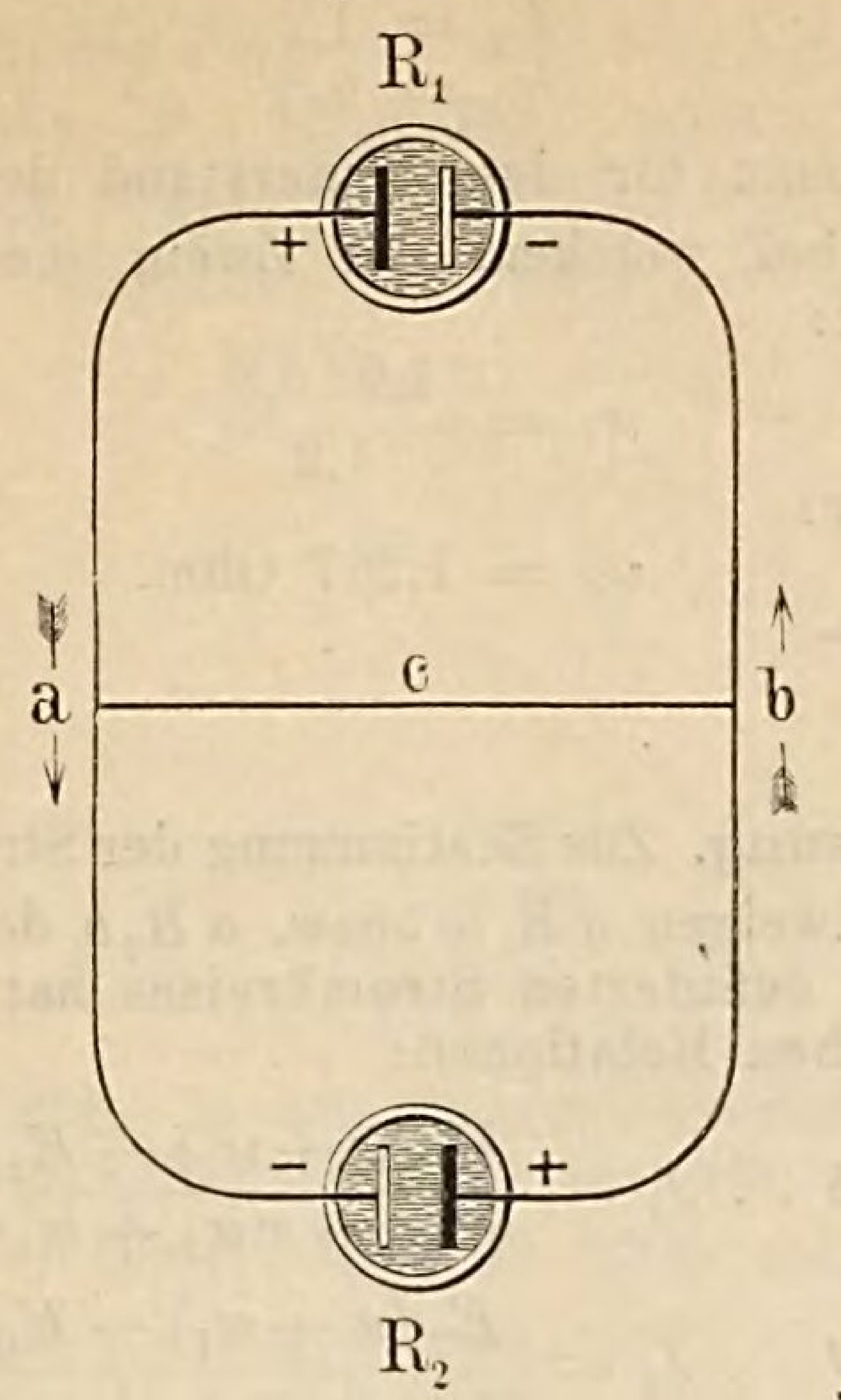
Der Wert des Widerstands w wird also negativ, d. h. in dem gegebenen Stromkreis kann der Zweig $\overline{aR_1b}$ niemals stromlos sein, einerlei welchen Widerstand der Zweig $\overline{acb}$ besitzt.

Aufgabe 79. Die Elemente des in Aufgabe 75 definierten Stromkreises werden mit den ungleichnamigen Polen verbunden (siehe Fig. 237). Welches ist die Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$?

Auflösung. Setzt man die in Aufgabe 75 gegebenen Werte:

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$

Figur 237.



$w = 0,3$
$w_1 = 0,6$
$w_2 = 0,8$

in

Formel 52 . . $J = \frac{E_1 w_2 - E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$:

$$J = \frac{1,9 \,.\, 0,8 - 1,2 \,.\, 0,6}{0,3 \,.\, 0,6 + 0,3 \,.\, 0,8 + 0,6 \,.\, 0,8}$$

oder:

$$J = 0,889 \text{ Ampère.}$$

Aufgabe 80. Der Widerstand des Zweigs $\overline{aR_2b}$ des in voriger Aufgabe definierten Stromkreises soll derart abgeändert werden, dass der Zweig $\overline{acb}$ stromlos wird.

Auflösung. Der Zweig $\overline{acb}$ wird stromlos, d. h. die Stromstärke J wird gleich 0, wenn in

Formel 52 . . $J = \frac{E_1 w_2 - E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

a). $E_1 w_2 = E_2 w_1$

wird, wenn also:

b). $w_2 = \frac{E_2 w_1}{E_1}$ ist.

Setzt man daher der vorigen Aufgabe entsprechend in dieser Gleichung a).:

$E_1 = 1,9$
$E_2 = 1,2$
$w_1 = 0,6$

so hat man für den Widerstand des Zweigs $\overline{aR_2b}$, bei welchem der Zweig $\overline{acb}$ stromlos wird:

$$w_2 = \frac{1,2 \,.\, 0,6}{1,9}$$

oder:

$$w_2 = 0,38 \text{ Ohm.}$$

Aufgabe 81. Angenommen, der wesentliche Widerstand des Elements R_2 des in Aufgabe 79 definierten Stromkreises sei grösser als 0,38 Ohm, so dass also der Zweig $\overline{acb}$ nicht, wie in voriger Aufgabe verlangt wurde, durch Verminderung des Widerstands des Zweigs $\overline{aR_2b}$ stromlos gemacht werden kann. Diese Stromlosigkeit soll nun durch Abänderung des Widerstands des Zweigs $\overline{aR_1b}$ erreicht werden.

Auflösung. Nach voriger Auflösung wird der Zweig $\overline{acb}$ stromlos, wenn

a). $E_1 w_2 = E_2 w_1$ ist.

Aus dieser Gleichung ergibt sich:

$$w_1 = \frac{E_1 w_2}{E_2}$$

Setzt man daher der Aufgabe 79 entsprechend:

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$
$$w_2 = 0{,}8$$

so hat man für den Widerstand des Zweigs $\overline{aR_1b}$, bei welchem der Zweig $\overline{acb}$ stromlos wird:

$$w_1 = \frac{1{,}9 \,.\, 0{,}8}{1{,}2}$$

oder:

$$w_1 = 1{,}267 \text{ Ohm.}$$

Aufgabe 82. Welches sind die Stromstärken J_1 bezw. J_2 in den Zweigen $\overline{aR_1b}$ bezw. $\overline{aR_2b}$ des in Aufgabe 79 definierten Stromkreises?

Erkl. 722. Die durch nebenstehende Gleichung b). bezeichnete Stromstärke des Zweigs $\overline{aR_2b}$ ist deshalb als negativ zu betrachten, weil die Stromrichtung in dem Zweig $\overline{aR_2b}$ entgegengesetzt ist derjenigen in dem Zweig $\overline{aR_2b}$ des in Aufgabe 75 definierten Stromkreises, auf welchen sich die nebenstehend abgeleiteten Gleichungen a). und b). beziehen.

Erkl. 723. Die Richtigkeit nebenstehender Berechnungen kann man prüfen wie folgt:
Setzt man in

Formel 30a . . $J = J_1 + (-J_2)$ [siehe Erkl. 722]

oder:

$$J = J_1 - J_2$$

die nebenstehend berechneten Werte, nämlich:

$$J_1 = 2{,}722$$
$$J_2 = -1{,}833$$

ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$:

$$J = 2{,}722 - 1{,}833$$

oder:

$$J = 0{,}889 \text{ Ampère,}$$

übereinstimmend mit dem in Auflösung der Aufgabe 79 berechneten Wert.

Auflösung. Zur Bestimmung der Stromstärke in den Zweigen $\overline{aR_1b}$ bezw. $\overline{aR_2b}$ des in Aufgabe 75 definierten Stromkreises hat man die bezüglichen Relationen:

Formel 45 . . $J_1 = \dfrac{E_1(w + w_2) - E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

Formel 47 . . $J_2 = \dfrac{E_2(w + w_1) - E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

Da nun die elektromotorische Kraft von R_2 in dem in Aufgabe 79 definierten Stromkreis in entgegengesetzter Richtung wirkt, wie in dem Stromkreis, auf welchen sich die Formeln 45 und 47 beziehen, so ist dieselbe in dem in Aufgabe 79 definierten Fall gleich $-E_2$. Die Formeln 45 und 47 gehen daher über in:

a). . . . $J_1 = \dfrac{E_1(w + w_2) + E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

und

$$J_2 = \frac{-E_2(w + w_1) - E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

oder:

b). . . $-J_2 = \dfrac{E_2(w + w_1) + E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

(siehe Erkl. 722).

Setzt man in obige Gleichung a). der Aufgabe 75 entsprechend:

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$
$$w = 0{,}3$$
$$w_1 = 0{,}6$$
$$w_2 = 0{,}8$$

so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{aR_1b}$:

$$J_1 = \frac{1{,}9\,(0{,}3 + 0{,}8) + 1{,}2 \,.\, 0{,}3}{0{,}3 \,.\, 0{,}6 + 0{,}3 \,.\, 0{,}8 + 0{,}6 \,.\, 0{,}8}$$

oder:

$$J_1 = \frac{2{,}45}{0{,}9}$$

oder:

$$J_1 = 2{,}722 \text{ Ampère.}$$

Setzt man in Gleichung b). diese Werte ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{aR_2b}$:

$$-J_2 = \frac{1{,}2\,(0{,}3 + 0{,}6) + 1{,}9 \,.\, 0{,}3}{0{,}9}$$

oder:

$$-J_2 = 1{,}833 \text{ Ampère}$$ (siehe Erkl. 723).

Aufgabe 83. Welches ist die Stromstärke in den Zweigen $\overline{aR_1b}$ und $\overline{aR_2b}$ des in Aufgabe 79 definierten Stromkreises für die in den Aufgaben 80 und 81 bezeichneten beiden Fälle, dass der Zweig $\overline{acb}$ stromlos wird?

Erkl. 724. In dem in vorstehender Aufgabe definierten Fall ist die Stromstärke J in dem Zweig $\overline{acb}$ gleich 0, es ist daher nach

Formel 30a . . $J = J_1 + (-J_2)$

$$J_1 = J_2$$

was mit den nebenstehenden Berechnungen unter 1). übereinstimmt.

Erkl. 725. In der vorstehenden Aufgabe wird der Fall behandelt, dass der Zweig $\overline{acb}$ stromlos, dass also:

a). $J = 0$ ist.

In diesem Fall ist:

b). $J_1 = -J_2$

und ferner muss:

c). $E_1 w_2 = E_2 w_1$ sein.

Die in dieser Gleichung c). gegebene Bedingung kann man wie folgt ableiten:

In diesem Stromkreis kann man den Leiter $\overline{acb}$ entfernen, weil derselbe stromlos ist; in dem sich dadurch ergebenden unverzweigten Stromkreis gilt alsdann für die Stromstärke die Relation:

d). $J_I = \dfrac{E_1 + E_2}{w_1 + w_2}$

Diese Stromstärke J_I ist aber

1). gleich J_1, somit ist nach Gleichung a). in Auflösung der Aufgabe 82 und nach obiger Gleichung d).:

Auflösung 1. 1). In dem in Aufgabe 80 bezeichneten Fall ist die Stromlosigkeit des Zweigs $\overline{acb}$ dadurch bedingt, dass für

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$
$$w = 0{,}3$$
$$w_1 = 0{,}6$$

der Widerstand des Zweigs $\overline{aR_2b}$:

$$w_2 = 0{,}38 \text{ ist.}$$

Setzt man diese Werte in Gleichung a). in Auflösung der Aufgabe 82, nämlich in

a). . . . $J_1 = \dfrac{E_1(w + w_2) + E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{aR_1b}$:

$$J_1 = \frac{1{,}9\,(0{,}3 + 0{,}38) + 1{,}2 \,.\, 0{,}3}{0{,}3 \,.\, 0{,}6 + 0{,}3 \,.\, 0{,}38 + 0{,}6 \,.\, 0{,}38}$$

oder:

$$J_1 = \frac{1{,}65}{0{,}522}$$

oder:

b). . . . $J_1 = 3{,}16$ Ampère.

Setzt man diese Werte in Gleichung b). in Auflösung der Aufgabe 82, nämlich in

c). . . $-J_2 = \dfrac{E_2(w + w_1) + E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{aR_2b}$:

$$-J_2 = \frac{1{,}2\,(0{,}3 + 0{,}6) + 1{,}9 \,.\, 0{,}3}{0{,}3 \,.\, 0{,}6 + 0{,}3 \,.\, 0{,}38 + 0{,}6 \,.\, 0{,}38}$$

oder:

$$-J_2 = \frac{1{,}65}{0{,}522}$$

oder:

$-J_2 = 3{,}16$ Ampère (siehe Erkl. 724).

2). In dem in Aufgabe 81 bezeichneten Fall ist die Stromlosigkeit des Zweigs $\overline{acb}$ dadurch bedingt, dass für

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$
$$w = 0{,}3$$
$$w_2 = 0{,}8$$

der Widerstand des Zweigs $\overline{aR_1b}$:

$$w_1 = 1{,}267 \text{ ist.}$$

Setzt man diese Werte in obige Gleichung a). ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{aR_1b}$:

$$J_1 = \frac{1{,}9\,(0{,}3 + 0{,}8) + 1{,}2 \,.\, 0{,}3}{0{,}3 \,.\, 1{,}267 + 0{,}3 \,.\, 0{,}8 + 1{,}267 \,.\, 0{,}8}$$

oder:

$$J_1 = \frac{2{,}450}{1{,}6337}$$

oder:

$J_1 = 1{,}5$ Ampère.

$$\frac{E_1(w+w_2)+E_2w}{ww_1+ww_2+w_1w_2}=\frac{E_1+E_2}{w_1+w_2}$$

oder:

$$\frac{E_1w+E_1w_2+E_2w}{ww_1+ww_2+w_1w_2}=\frac{E_1+E_2}{w_1+w_2}$$

Multipliziert man diese Gleichung mit ihrem Generalnenner, so ergibt sich:

$$E_1ww_1+E_1ww_2+E_1w_1w_2+E_1w^2_2+E_2ww_1+E_2ww_2=E_1ww_1+E_1ww_2+E_1w_1w_2+E_2ww_1+E_2ww_2+E_2w_1w_2$$

und nach Weglassung der sich aufhebenden Glieder:

$$E_1w^2_2=E_2w_1w_2$$

oder:

$$E_1w_2=E_2w_1$$

was zu beweisen war.

Die Stromstärke J_I ist ferner

2). gleich $-J_2$, somit ist nach Gleichung b). in Auflösung der Aufgabe 82 und nach obiger Gleichung d).:

$$\frac{E_2(w+w_1)+E_1w}{ww_1+ww_2+w_1w_2}=\frac{E_1+E_2}{w_1+w_2}$$

oder:

$$\frac{E_2w+E_2w_1+E_1w}{ww_1+ww_2+w_1w_2}=\frac{E_1+E_2}{w_1+w_2}$$

Multipliziert man diese Gleichung mit ihrem Generalnenner, so ergibt sich:

$$E_2ww_1+E_2ww_2+E_2w^2_1+E_2w_1w_2+E_1ww_1+E_1ww_2=E_1ww_1+E_1ww_2+E_1w_1w_2+E_2ww_1+E_2ww_2+E_2w_1w_2$$

und nach Weglassung der sich aufhebenden Glieder:

$$E_2w^2_1=E_1w_1w_2$$

oder:

$$E_2w_1=E_1w_2$$

was zu beweisen war.

Setzt man diese Werte in Gleichung c). ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{aR_2b}$:

$$-J_2=\frac{1{,}2\,(0{,}3+1{,}267)+1{,}9\,.\,0{,}3}{0{,}3\,.\,1{,}267+0{,}3\,.\,0{,}8+1{,}267\,.\,0{,}8}$$

oder:

$$-J_2=\frac{2{,}450}{1{,}6337}$$

oder:

$-J_2=1{,}5$ Ampère (siehe Erkl. 725).

Auflösung 2. In dem durch die Aufgabe gegebenen Fall ist der Leiter $\overline{acb}$ stromlos. Man kann diesen Leiter daher aus dem Stromkreis entfernen, ohne dass sich die Stromstärke in dem alsdann unverzweigten Stromkreis ändert.

Der Widerstand dieses unverzweigten Stromkreises ist dann:

$$W=w_1+w_2$$

Die elektromotorische Kraft in demselben ist:

$$E=E_1+E_2$$

und die Stromstärke J_I in diesem Stromkreis ist, da nach:

Formel 16 $J_I=\frac{E}{W}$

wenn man hierin die obigen Bezeichnungen einsetzt:

a). $J_I=\frac{E_1+E_2}{w_1+w_2}$

Setzt man in diese Gleichung a). die in Auflösung 1 aufgeführten, der Aufgabe 80 entsprechenden Werte ein, so erhält man für die Stromstärke in diesem unverzweigten Stromkreis:

$$J_I=\frac{1{,}9+1{,}2}{0{,}6+0{,}38}$$

oder:

$$J_I=\frac{3{,}1}{0{,}98}$$

oder:

$J_I=3{,}16$ Ampère,

übereinstimmend mit dem in Auflösung 1 unter 1). berechneten Wert.

Setzt man ferner in obige Gleichung a). die in Auflösung 1 unter 2). aufgeführten, der Aufgabe 81 entsprechenden Werte ein, so erhält man für die Stromstärke in diesem unverzweigten Stromkreis:

$$J_I=\frac{1{,}9+1{,}2}{1{,}267+0{,}8}$$

oder:

$$J_I=\frac{3{,}1}{2{,}067}$$

oder:

$J_I=1{,}5$ Ampère,

übereinstimmend mit dem in Auflösung 1 unter 2). berechneten Wert (siehe Erkl. 725).

Aufgabe 84. Welches ist das Maximum der Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$ des in Aufgabe 79 definierten Stromkreises, wenn lediglich der Widerstand w_1 des Zweigs $\overline{aR_1b}$ veränderlich ist?

Auflösung. Für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$ gilt die Relation:

Formel 52 . . $J = \frac{E_1 w_2 - E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$

Hierin ist nach der Aufgabe nur w_1 veränderlich. J wird daher ein Maximum, wenn

$$w_1 = 0$$

ist (was allerdings nur annähernd möglich ist). Alsdann wird in dieser Formel:

$$E_2 w_1 = 0$$
$$w w_1 = 0$$
$$w_1 w_2 = 0$$

und Formel 52 geht über in

a). $J_{max} = \frac{E_1 w_2}{w w_2}$

Setzt man in dieser Gleichung a). der Aufgabe 79 entsprechend:

$$E_1 = 1{,}9$$
$$w = 0{,}3$$
$$w_1 = 0{,}8$$

so hat man für das Maximum der Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$:

$$J_{max} = \frac{1{,}9 \,.\, 0{,}8}{0{,}3 \,.\, 0{,}8}$$

oder:

b). $J_{max} = 6{,}33$ Ampère (s. Erkl. 726).

Erkl. 726. Das in nebenstehender Auflösung berechnete Maximum der Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$ kann praktisch nie erreicht werden, weil der Zweig $\overline{aR_1b}$ niemals gänzlich widerstandslos sein kann. Gleichung b). besagt daher nur: „Die Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$ ist stets kleiner als 6,33 Ampère und nähert sich diesem Grenzwert von 6,33 Ampère umsomehr, je kleiner der Widerstand in dem Zweig $\overline{aR_1b}$ ist.

Aufgabe 85. Es sind die dem in voriger Aufgabe verlangten Maximum der Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$ entsprechenden Stromstärken in den Zweigen $\overline{aR_1b}$ und $\overline{aR_2b}$ zu bestimmen.

Auflösung. Setzt man in Gleichung a). in Auflösung der Aufgabe 82:

$$J_1 = \frac{E_1 (w + w_2) + E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

der vorigen Aufgabe entsprechend:

$$w_1 = 0$$

und setzt man der Aufgabe 79 entsprechend:

$$E_1 = 1{,}9$$
$$E_2 = 1{,}2$$
$$w = 0{,}3$$
$$w_2 = 0{,}8$$

so hat man für die Stromstärke im Zweig $\overline{aR_1b}$:

$$J_1 = \frac{1{,}9\,(0{,}3 + 0{,}8) + 1{,}2 \,.\, 0{,}3}{0{,}3 \,.\, 0{,}8}$$

oder:

$J_1 = 10{,}21$ Ampère.

Setzt man diese Werte in Gleichung b). in Auflösung der Aufgabe 82:

$$-J_2 = \frac{E_2 (w + w_1) + E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$

so hat man für die Stromstärke im Zweig $\overline{aR_2b}$:

$$-J_2 = \frac{1{,}2 \,.\, 0{,}3 + 1{,}9 \,.\, 0{,}3}{0{,}3 \,.\, 0{,}8}$$

oder:

$-J_2 = 3{,}88$ Ampère (siehe Erkl. 727).

Erkl. 727. Zwischen den Stromstärken in dem in vorstehender Aufgabe behandelten Stromkreis besteht die Relation:

Formel 30ª . . $J = J_1 + (-J_2)$ [siehe Erkl. 723].

Setzt man die nebenstehend berechneten Werte:

$$J_1 = 10{,}21$$
und $-J_2 = 3{,}88$

in diese Formel ein, so erhält man für die Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$:

$$J = 10{,}21 - 3{,}88$$

oder:

$J = 6{,}33$ Ampère,

übereinstimmend mit dem in Auflösung der vorigen Aufgabe berechneten Wert.

Aufgabe 86. In einem Stromkreis mit Brückenverzweigung, siehe Figur 238, sind die Widerstände

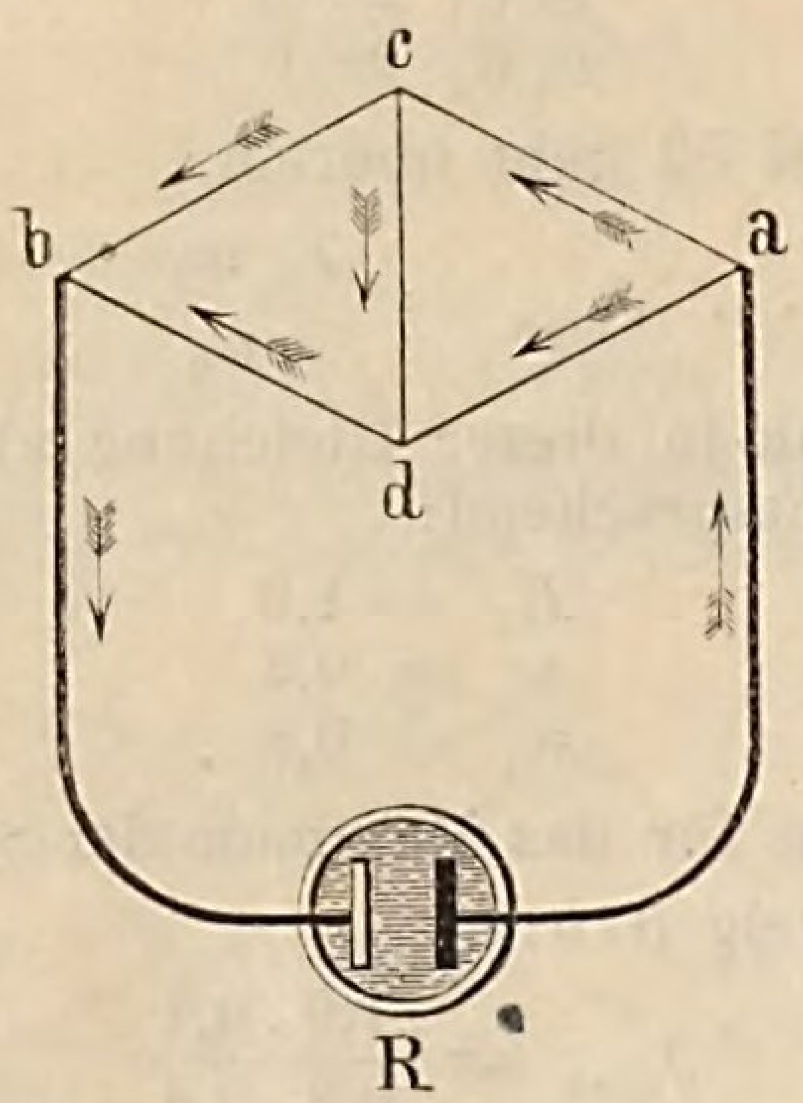
im Zweig $\overline{ac}$: $w_1 = 3$ Ohm,

" " $\overline{cb}$: $w_2 = 7$ "

" " $\overline{ad}$: $w_3 = 2$ "

Welchen Widerstand muss der Zweig $\overline{bd}$ haben, damit die Brücke $\overline{cd}$ stromlos ist?

Figur 238.



Auflösung. Setzt man in

Formel 54 . . $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$

die in der Aufgabe gegebenen Werte ein, also:

$$3 : 7 = 2 : w_4$$

so erhält man für den Widerstand im Zweig $\overline{ad}$, bei welchem die Brücke stromlos wird:

$$w_4 = \frac{7 \,.\, 2}{3}$$

oder:

$$w_4 = 4^2/_3 \text{ Ohm.}$$

4). Aufgaben über den Leitungswiderstand (das Leitungsvermögen).

Aufgabe 87. Eine möglichst genau cylindrische Glasröhre von 1,5 Meter Länge ist mit Quecksilber gefüllt. Das Gewicht des Quecksilbers beträgt 25 Milligramm. Welches ist in Siemens-Einheiten der Widerstand dieser Quecksilbersäule?

Hilfsrechnung.

$$\begin{aligned} \log 13{,}596 &= 1{,}13322 \\ 6 &\quad\; 19 \\ \log 2{,}25 &= 0{,}35218 \\ &\quad\; \overline{1{,}48559} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log 1000 &= 3{,}00000 \\ \log 25 &= 1{,}39794 \\ &\quad\; \overline{4{,}39794} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{r} 1{,}48559 \\ -\,4{,}39794 + 10 \\ \hline 7{,}08765 - 10 \\ 43 \\ \hline 22 \end{array}$$

$$\text{num} \log 7{,}08765 - 10 = 0{,}0012236$$

Auflösung. Setzt man in

Formel 60 . . $W = \frac{13{,}596 \,.\, l^2}{1000 \,.\, G}$

der Aufgabe entsprechend:

$$l = 1{,}5$$

$$\text{und } G = 25$$

so erhält man für den Widerstand der Quecksilbersäule:

$$W = \frac{13{,}596 \,.\, 2{,}25}{1000 \,.\, 25}$$

oder:

$$W = 0{,}0012236 \text{ Siemens-Einh.}$$

(siehe nebenstehende Hilfsrechnung).

Aufgabe 88. Welche Länge in Meter muss eine Quecksilbersäule von 500 Milligramm Gewicht besitzen, damit ihr Leitungswiderstand gleich 1 Siemens-Einheit ist?

Auflösung. Aus

Formel 60 . . $W = \frac{13{,}596 \,.\, l^2}{1000 \,.\, G}$

ergibt sich:

$$l^2 = \frac{1000\, W \,.\, G}{13{,}596}$$

mithin:

$$l = \sqrt{\frac{1000\, W \,.\, G}{13{,}596}}$$

Setzt man in letzterer Gleichung der Aufgabe entsprechend:

$$W = 1$$
und $$G = 500$$

so erhält man für die Quecksilbersäule von 500 mg Gewicht und 1 Siemens-Einheit Widerstand die Länge:

$$l = \sqrt{\frac{1000 \,.\, 1 \,.\, 500}{13{,}596}}$$

oder:

$$l = 191{,}7 \text{ Meter}$$

(siehe nebenstehende Hilfsrechnung).

Hilfsrechnung.

$$\begin{aligned} \log 1000 &= 3{,}00000 \\ \log 500 &= 2{,}69897 \\ &\overline{\ 5{,}69897} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log 13{,}596 &= 1{,}13322 \\ 6 &\ \phantom{1{,}133}19 \\ &\overline{\ 1{,}13341} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\ 5{,}69897 \\ &- 1{,}13341 \\ \log l^2 &= 4{,}56556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log l &= \frac{4{,}56556}{2} \\ &= 2{,}28278 \\ \text{num} \log l &= 191{,}7 \end{aligned}$$

Aufgabe 89. Es ist ein Leitungsdraht von 2,3 Meter Länge und 3 Millimeter Durchmesser und ein Leitungsdraht aus demselben Metall von 4,2 Meter Länge und 2,5 Millimeter Durchmesser gegeben. Wie gross ist der Leitungswiderstand des zweiten Drahts, wenn derjenige des ersten als Einheit des Leitungswiderstands angenommen ist?

Auflösung. Die Querschnitte der beiden zu vergleichenden Drähte sind:

a). $q_1 = r_1^2 \pi$

und

b). $q = r^2 \pi$

in welchen beiden Gleichungen r_1 den Halbmesser des ersten, r_2 den Halbmesser des zweiten Drahts, und π die irrationale Zahl 3,1416 bezeichnet (siehe Erkl. 575).

Nach der Aufgabe ist:

$$r_1 = \frac{3}{2} \text{ oder } = 1{,}5$$

und

$$r = \frac{2{,}5}{2} \text{ oder } = 1{,}25$$

somit ist nach obigen Gleichungen a). und b).:

c). $q_1 = \overline{1{,}5}^2 \pi$

und

d). $q = \overline{1{,}25}^2 \pi$

Die Längen der beiden Drähte sind:

$$l_1 = 2{,}3 \text{ Meter}$$
$$l = 4{,}2 \quad \text{"}$$

Setzt man diese Werte in

Formel 55 . . $W : W_1 = \frac{l}{q} : \frac{l_1}{q_1}$

ein, und berücksichtigt man, dass der Leitungswiderstand des ersten Drahts:

Hilfsrechnung.

$$\log \frac{4{,}2 \,.\, \overline{1{,}5}^2}{\overline{1{,}25}^2 \,.\, 2{,}3} = \log 4{,}2 + 2 \log 1{,}5 - (2 \log 1{,}25 + \log 2{,}3)$$

$$\begin{aligned} \log 4{,}2 &= 0{,}62325 \\ 2 \log 1{,}5 &= 0{,}35218 \\ &\overline{\ 0{,}97543} \end{aligned}$$

$$\log 1{,}5 = 0{,}17609$$

$$\log 1{,}25 = 0{,}09691$$

$$\begin{aligned} 2 \log 1{,}25 &= 0{,}19382 \\ \log 2{,}3 &= 0{,}36173 \\ &\overline{\ 0{,}55555} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\ 0{,}97543 \\ &- 0{,}55555 \\ \text{num} \log 0{,}41988 &= 2{,}629 \end{aligned}$$

oder abgerundet = 2,63

$$W_1 = 1$$

angenommen ist, so erhält man:

$$\text{e)} \ldots W : 1 = \frac{4,2}{\overline{1,25}^2 . \pi} : \frac{2,3}{\overline{1,5}^2 . \pi}$$

und hieraus erhält man für den Leitungswiderstand des zweiten Drahts:

$$W = \frac{4,2 . \overline{1,5}^2}{\overline{1,25}^2 . 2,3}$$

oder:

$$W = 2,63 \text{ (s. nebenst. Hilfsrechnung)}$$

d. h. also: Der zweite Draht hat einen 2,63 mal so grossen Leitungswiderstand als der erste.

Aufgabe 90. Wieviel Ohm Widerstand besitzt bei 18° Celsius ein Bleidraht von rechteckigem Querschnitt, welcher 50 Meter lang, 2 Millimeter breit und 3 Millimeter hoch ist (siehe Erkl. 728)?

Erkl. 728. Der Widerstand ist nach der Tabelle in Erkl. 570 zu berechnen.

Auflösung. Das spezifische Leitungsvermögen des Bleis ist bei 18° Celsius:

$$F_1 = 4,6$$

bezogen auf Quecksilber von 0° Celsius. Somit ist der spezifische Widerstand des Bleis nach

$$\textbf{Formel 58} \ldots W_1 = \frac{1}{F_1}$$

wenn man obigen Wert für F_1 einsetzt:

$$W_1 = \frac{1}{4,6}$$

d. h.: Ein Bleidraht von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt hat bei 18° Celsius einen Widerstand von $\frac{1}{4,6}$ Siemens-Einheiten.

Setzt man nun in

$$\textbf{Formel 55} \ldots W : W_1 = \frac{l}{q} : \frac{l_1}{q_1}$$

für den Querschnitt des gegebenen Drahts der Aufgabe entsprechend:

$$q = 2 . 3 \text{ Quadratmillimeter}$$
$$l = 50 \text{ Meter}$$

ferner:

$$W_1 = \frac{1}{4,6}$$
$$q_1 = 1 \text{ Quadratmillimeter}$$
$$l_1 = 1 \text{ Meter}$$

so erhält man:

$$W : \frac{1}{4,6} = \frac{50}{2 . 3} : \frac{1}{1}$$

und hieraus ergibt sich der Widerstand des gegebenen Bleidrahts bei 18° Celsius zu:

$$W = \frac{50}{4,6 . 2 . 3}$$

oder:

$$W = 1,81 \text{ Siemens-Einheiten.}$$

Da nun 1 Siemens-Einheit gleich 0,943 Ohm ist, so ist dieser Widerstand:

$$W = 1,81 . 0,943$$

oder:

$$W = 1,71 \text{ Ohm.}$$

Aufgabe 91. Wieviel Ohm Widerstand besitzt bei 14° Celsius ein Eisendraht von rundem Querschnitt, welcher eine Länge von 100 Meter und einen Durchmesser von 4 Millimeter hat, wenn das spezifische Leitungsvermögen des Eisens bei 18° Celsius gleich 8 ist, bezogen auf das des Quecksilbers bei 0° Celsius als Einheit?

Auflösung. Nach der Aufgabe ist der Querschnitt des gegebenen Drahts nach der Gleichung:

a). $q = r^2 \pi$

da der Halbmesser:

$$r = 2$$

wenn man diesen Wert von r in Gleichung a). einsetzt:

$$q = 4 \,.\, 3{,}1416$$

oder:

$$q = 12{,}5664 \text{ Quadratmillimeter.}$$

Die Einheit des Querschnitts ist:

$$q_1 = 1 \text{ Quadratmillimeter.}$$

Die Länge des gegebenen Drahts ist:

$$l = 100 \text{ Meter.}$$

Die Einheit der Länge ist:

$$l_1 = 1 \text{ Meter.}$$

Die Einheit des Leitungsvermögens des Eisens, d. h. also, das Leitungsvermögen eines Eisendrahts von 1 Quadratmillimeter Querschnitt und 1 Meter Länge ist:

$$F_1 = 8$$

bezogen auf das des Quecksilbers.

Setzt man diese Werte in

Formel 57 . . $F : F_1 = \frac{q}{l} : \frac{q_1}{l_1}$

ein, so erhält man:

$$F : 8 = \frac{12{,}5664}{100} : \frac{1}{1}$$

und hieraus ergibt sich für das Leitungsvermögen des gegebenen Drahts bei 18° Celsius:

$$F = \frac{8 \,.\, 12{,}5664}{100}$$

oder:

$$F = 1{,}005312$$

Setzt man nun in

Formel 58 $W = \frac{1}{F}$

diesen Wert ein, so erhält man für den Widerstand des gegebenen Drahts bei 18° Celsius:

$$W = \frac{1}{1{,}005312}$$

oder:

$$W = 0{,}9947 \text{ Siemens-Einheiten bei } 18^0 \text{ Celsius.}$$

Zur Reduktion dieses Widerstands von 18 auf 0° Celsius setzt man in Gleichung a). in Erkl. 571, nämlich in:

a). $w_t = w_0 \,(1 + t\,\alpha)$

in welcher für diesen Fall w_t den Widerstand bei 18° Celsius bedeutet,

$$w_t = 0{,}9947$$
$$t = 18$$
$$\alpha = 0{,}004 \text{ (siehe Erkl. 571)}$$

man setzt also:

$$0{,}9947 = w_0\,(1 + 18\,.\,0{,}004)$$

oder:

$$0{,}9947 = 1{,}072\,w_0$$

und hieraus erhält man für den Widerstand bei 0^0 Celsius:

$$w_0 = \frac{0{,}9947}{1{,}072}$$

oder:

$$w_0 = 0{,}928 \text{ Siemens-Einheiten bei } 0^0 \text{ Celsius.}$$

Somit ist der Widerstand des gegebenen Drahts bei 14^0 Celsius nach obiger Gleichung a).:

$$w_t = w_0\,(1 + t\,\alpha)$$

worin nun w_t den Widerstand bei $t = 14^0$ Celsius bedeutet,

$$w_t = 0{,}928\,(1 + 14\,.\,0{,}004)$$

oder:

$$w_t = 0{,}97997 \text{ Siemens-Einh. bei } 14^0 \text{ C.}$$

Aufgabe 92. Welchen Durchmesser muss ein Kupferdraht von 20 Meter Länge besitzen, damit er denselben Widerstand hat, wie ein Kupferdraht von 5 Millimeter Durchmesser und 3 Meter Länge?

Auflösung. Für den Widerstand eines Drahts von gegebener Länge und gegebenem Querschnitt besteht die Relation:

Formel 56 $$W = \frac{l}{q}$$

Da nun der Querschnitt q aus dem Durchmesser d nach der Gleichung:

$$q = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi \text{ (siehe Erkl. 729)}$$

berechnet wird, so kann man obige Formel auch schreiben:

a). $$W = \frac{l}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi}$$

worin l die Länge des Drahts, d den Durchmesser desselben bedeutet.

Nach der Aufgabe ist nun für den ersten Draht:

$$l = 20$$

und für den zweiten Draht:

$$l = 3$$
$$\text{und } d = 5$$

Für den Widerstand des ersten Drahts hat man also die Relation:

b). $$W = \frac{20}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi}$$

und für den Widerstand des zweiten Drahts, welcher gleich dem des ersten ist, die Relation:

Erkl. 729. Bezeichnet man den Durchmesser eines Kreises mit d, den Flächeninhalt desselben mit q, und mit π die irrationale Zahl 3,1416, so ist:

$$q = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi$$

(siehe auch Erkl. 575).

$$c). \ldots\ldots W = \frac{3}{\left(\frac{5}{2}\right)^2 \pi}$$

Es ist somit nach den Gleichungen b). und c).

$$\frac{3}{\left(\frac{5}{2}\right)^2 \pi} = \frac{20}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi}$$

oder:

$$\frac{3\,d^2}{4} = \frac{20 \,.\, 25}{4}$$

oder:

$$3\,d^2 = 20 \,.\, 25$$

und hieraus erhält man für den gesuchten Durchmesser des ersten Drahts:

$$d = \sqrt{\frac{20 \,.\, 25}{3}}$$

oder:

$$d = \sqrt{166{,}7}$$

oder:

$$d = 12{,}91 \text{ Millimeter}$$

(siehe nebenstehende Hilfsrechnung).

Hilfsrechnung.

$\log d = \frac{1}{2} \log 166{,}7$

$\log 166{,}7 = 2{,}22194$
$\frac{1}{2} \log 166{,}7 = 1{,}11097$
$\text{num} \log = 12{,}91$

Aufgabe 93. Wieviel Siemens-Einheiten beträgt der Widerstand eines Kupferdrahts von 30 Meter Länge und 3 Millimeter Durchmesser, wenn die spezifische Leitungsfähigkeit des Kupfers gleich 54, bezogen auf die des Quecksilbers, ist (siehe Erkl. 730)?

Erkl. 730. Die Leitungsfähigkeit der Metalle wird sehr verschieden angegeben. Sämtliche Zahlen in diesen Aufgaben sind nach *F. Kohlrausch* (siehe Erkl. 570).

Auflösung. Setzt man in

$$\textbf{Formel 58} \ldots W = \frac{1}{F}$$

der Aufgabe entsprechend:

$$F = 54$$

so erhält man für den spezifischen Leitungswiderstand des Kupfers:

$$a). \ldots\ldots W = \frac{1}{54}$$

d. h. also, ein Kupferdraht von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt hat einen Widerstand von $\frac{1}{54}$ Siemens-Einheiten.

Setzt man daher in

$$\textbf{Formel 55} \ldots W : W_1 = \frac{l}{q} : \frac{l_1}{q_1}$$

der Aufgabe entsprechend:

$$l_1 = 30$$

$$q_1 = \left(\frac{3}{2}\right)^2 \pi \text{ (siehe Erkl. 729)}$$

und obiger Gleichung a). entsprechend:

$$W = \frac{1}{54}$$

ferner: $l = 1$

und $q = 1$

so erhält man:

$$\frac{1}{54} : W_1 = \frac{1}{1} : \frac{30}{\left(\frac{3}{2}\right)^2 \pi}$$

und hieraus erhält man für den Widerstand eines Kupferdrahts von 30 Meter Länge, 3 Millimeter Durchmesser und dem auf Quecksilber bezogenen spezifischen Leitungsvermögen 54:

$$W_1 = \frac{30 . 4}{54 . 9 . 3{,}1416}$$

oder:

$$W_1 = 0{,}0786 \text{ Siemens-Einheiten.}$$

Aufgabe 94. Wie lang muss ein Kupferdraht von 5 Millimeter Durchmesser sein, damit derselbe einen Widerstand von 1 Siemens-Einheit besitzt?

Auflösung. Ein Kupferdraht von 1 Meter Länge ($l = 1$) und 1 Quadratmillimeter Querschnitt ($q = 1$) hat nach Erkl. 570 den Widerstand:

$$W = \frac{1}{54} \text{ Siemens-Einheiten.}$$

Die Länge des gegebenen Drahts ist l_1.

Der Querschnitt desselben ist

$$q_1 = \left(\frac{5}{2}\right)^2 3{,}1416 \text{ (siehe Erkl. 729)}$$

Der Widerstand desselben ist

$$W_1 = 1$$

Setzt man in

Formel 55 . . $W : W_1 = \frac{l}{q} : \frac{l_1}{q_1}$

diese Werte ein, so erhält man:

$$\frac{1}{54} : 1 = \frac{1}{1} : \frac{l_1}{\left(\frac{5}{2}\right)^2 3{,}1416}$$

und hieraus ergibt sich für die zu berechnende Länge des Drahts:

$$l_1 = \frac{25 . 54 . 3{,}1416}{4}$$

oder:

$$l_1 = 1060 \text{ Meter.}$$

Aufgabe 95. Ein Leitungsdraht von 4 Millimeter Durchmesser soll durch zwei unter sich gleichdicke parallele Drähte von gleicher Länge und aus gleichem Material wie der erste ersetzt werden. Welchen Durchmesser müssen die Ersatzdrähte haben, damit sie zusammen den gleichen Widerstand besitzen, wie der erste Draht?

Auflösung. Damit der Widerstand der beiden gleichdicken und gleichlangen Drähte gleich ist dem Widerstand eines Drahts von gleicher Länge und aus gleichem Material, muss die Summe der Querschnitte der beiden Ersatzdrähte gleich dem Widerstand des einen Drahts sein.

Der Querschnitt eines Drahts ist:

$$q = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi \text{ (siehe Erkl. 729)}$$

mithin, da nach der Aufgabe der Durchmesser des ersten Drahts:

$$d = 4 \text{ ist,}$$

so ist der Querschnitt des ersten Drahts:

a). $q_1 = \frac{4^2}{2^2} \pi$

Der Querschnitt eines der beiden Ersatzdrähte ist:

$$q_2 = \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \pi$$

somit die Summe dieser beiden gleichen Querschnitte:

b). $2\,q_2 = 2\left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi$

Da nun nach der Aufgabe:

$$q_1 = 2\,q_2$$

sein soll, so ist auch:

$$\left(\frac{4}{2}\right)^2 \pi = 2\left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \pi$$

und hieraus ergibt sich:

$$4^2 = 2\,d_1^{\,2}$$

also:

$$d_1^{\,2} = 8$$

mithin:

$$d_1 = \sqrt{8}$$

oder:

$$d_1 = 2{,}828 \text{ Millimeter.}$$

Jeder der beiden Ersatzdrähte muss also einen Durchmesser von 2,828 mm haben.

Aufgabe 96. Ein Kupferdraht von 6 Millimeter Durchmesser soll durch einen Eisendraht von gleicher Länge ersetzt werden. Welchen Durchmesser muss dieser Eisendraht besitzen, damit der Widerstand desselben der gleiche ist, wie der des Kupferdrahts, wenn das spezifische Leitungsvermögen des Kupfers gleich 54, das des Eisens gleich 8 ist?

Auflösung. Der spezifische Leitungswiderstand des Kupfers ist:

$$W_1 = \frac{1}{54}$$

und derjenige des Eisens ist:

$$W_2 = \frac{1}{8}$$

Der Querschnitt des Kupferdrahts ist:

$$q_1 = \left(\frac{6}{2}\right)^2 \pi$$

und der Querschnitt des Eisendrahts ist:

$$q_2 = \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \pi$$

Sollen die beiden Drähte von gleicher Länge, jedoch von verschiedenem spezifischem Leitungswiderstand den gleichen Leitungswiderstand äussern, so müssen die Querschnitte der beiden Drähte deren spezifischen Leitungswiderständen proportional, also:

a). $W_1 : W_2 = q_1 : q_2$

sein. Durch Einsetzung der Zahlenwerte in diese Gleichung a). erhält man:

$$\frac{1}{54} : \frac{1}{8} = \frac{36}{4}\pi : \frac{d_2^{\,2}}{4}\pi$$

oder:

$$\frac{1}{54} : \frac{1}{8} = 36 : d_2^{\,2}$$

und hieraus ergibt sich:

$$d_2^{\,2} = \frac{54 \,.\, 36}{8}$$

Der gesuchte Durchmesser des Eisendrahts ist also:

$$d_2 = \sqrt{243}$$

oder:

$$d_2 = 15{,}6 \text{ Millimeter.}$$

Aufgabe 97. Ein Draht vom Durchmesser d, der Länge l und dem spezifischen Leitungswiderstand W, und ein Draht vom Durchmesser d_1 und dem spezifischen Widerstand W_1 sollen beide denselben Widerstand haben. Welche Länge l_1 muss der zweite Draht besitzen?

Auflösung. Sollen die beiden Drähte den gleichen Widerstand besitzen, so müssen deren spezifische Widerstände W und W_1 den Querschnitten q und q_1 direkt und den Längen l und l_1 umgekehrt proportional sein, es muss somit:

$$W : W_1 = \frac{q}{l} : \frac{q_1}{l_1}$$

sein.

Hieraus ergibt sich:

$$W l q_1 = W_1 l_1 q$$

und hieraus erhält man für die Länge des zweiten Drahts:

$$l_1 = \frac{W l q_1}{W_1 q}$$

oder, wenn man:

$$q = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi$$

und

$$q_1 = \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 \pi$$

setzt,

$$\text{a).} \; \ldots\ldots \; l_1 = \frac{W l d_1^2}{W_1 d^2}$$

Aufgabe 98. In der vorigen Aufgabe soll die Länge l_1 des zweiten Drahts gegeben sein und der Durchmesser d_1 desselben bestimmt werden.

Auflösung. Aus Gleichung a). in voriger Auflösung erhält man für den gesuchten Durchmesser des zweiten Drahts:

$$\text{a).} \; \ldots\ldots \; d_1 = \sqrt{\frac{W_1 l_1 d^2}{W l}}$$

oder:

$$\text{b).} \; \ldots\ldots \; d_1 = d \sqrt{\frac{W_1 l_1}{W l}}$$

Aufgabe 99. In einem Stromkreis soll ein Kupferdraht von 25 Meter Länge und 2 Millimeter Durchmesser durch einen Eisendraht von 4 Millimeter Durchmesser ersetzt werden, ohne dass sich die Stromstärke in dem Stromkreis ändert. Welche Länge muss dieser Eisendraht haben?

Auflösung. Setzt man in Gleichung a). in Auflösung der Aufgabe 97:

$$l_1 = \frac{W l d_1^2}{W_1 d^2}$$

für den spezifischen Widerstand des Kupfers:

$$W = \frac{1}{54}$$

für den spezifischen Widerstand des Eisens:

$$W_1 = \frac{1}{8}$$

für den Durchmesser des Kupferdrahts:

$$d = 2$$

für die Länge desselben:

$$l = 25$$

und für den Durchmesser des Eisendrahts:

$$d_1 = 4$$

so erhält man für die gesuchte Länge des Eisendrahts:

$$l_1 = \frac{\frac{1}{54} \cdot 25 \cdot 16}{\frac{1}{8} \cdot 4}$$

oder:

$$l_1 = 14{,}81 \text{ Meter.}$$

Aufgabe 100. Welchen Durchmesser muss ein Kupferdraht von 20 Meter Länge haben, damit er denselben Widerstand besitzt wie ein Neusilberdraht von 10 Meter Länge und 5 Millimeter Durchmesser (siehe Erkl. 731)?

Erkl. 731. Der spezifische Leitungswiderstand des Neusilbers ist nach Erkl. 570 und Antwort auf Frage 354:

$$W = \frac{1}{4}$$

und derjenige des Kupfers ist:

$$W_1 = \frac{1}{54}$$

Auflösung. Setzt man in Gleichung b). in Auflösung der Aufgabe 98:

$$d_1 = d\sqrt{\frac{W_1 l_1}{W l}}$$

der Aufgabe entsprechend für den Durchmesser des Neusilberdrahts:

$$d = 5$$

für die Länge desselben:

$$l = 10$$

für die Länge des Kupferdrahts:

$$l_1 = 20$$

für den spezifischen Leitungswiderstand des Neusilbers:

$$W = \frac{1}{4} \text{ (siehe Erkl. 731)}$$

für den spezifischen Leitungswiderstand des Kupfers:

$$W_1 = \frac{1}{54} \text{ (siehe Erkl. 731)}$$

so erhält man für den gesuchten Durchmesser des Kupferdrahts:

$$d_1 = 5\sqrt{\frac{\frac{1}{54} \cdot 20}{\frac{1}{4} \cdot 10}}$$

oder:

$$d_1 = 1{,}924 \text{ Millimeter.}$$

Anmerkung. Aufgaben über die Wärmewirkungen des elektrischen Stroms und über die chemische Energie der galvanischen Elemente findet man in dieser Encyklopädie in den Lehrbüchern der Wärme und der absoluten Masse. Aufgaben, welche von technischem Interesse sind, findet man in den betreffenden technischen Lehrbüchern.

II. Ungelöste Aufgaben.

Anmerkung. Die Lösung der nachstehenden Aufgaben fällt denjenigen nicht schwer, welche die vorstehenden gelösten Aufgaben verstanden haben. Bei der Auflösung derselben verfahre man wie folgt:

Hat man den Sinn der Aufgabe nicht verstanden, so suche man sich durch Repetieren des betreffenden Abschnitts in diesem Lehrbuch Aufklärung zu verschaffen, und wenn dies nicht gelingt, sehe man die betreffende analoge gelöste Aufgabe nach. Alsdann versuche man die Lösung ohne Zuhilfenahme der Auflösung der analogen gelösten Aufgabe und vergleiche die selbständig gefundene Lösung mit der Auflösung der analogen gelösten Aufgabe. Je seltener man die analogen gelösten Aufgaben zu Hilfe nimmt, um so mehr Sicherheit wird man in dem Verständnis der in diesem Lehrbuch erörterten Gesetze erhalten.

Aufgabe 101. Welche Stromstärke in Kupfereinheiten besitzt ein elektrischer Strom, welcher in 48 Minuten 2300 Milligramm Kupfer in einem Kupfervoltameter niederschlägt?

Andeutung. Analog Aufgabe 1.

Aufgabe 102. Die in voriger Aufgabe berechnete Stromstärke soll in

a). Wasserstoff-Einheiten,
b). Wasser- „
c). Silber- „
d). Knallgas- „
e). Ampère

ausgedrückt werden.

Andeutung. Analog Aufgabe 2.

Aufgabe 103. In einem Stromkreis ist ein Gewichtswasservoltameter, ein Silbervoltameter und ein Kupfervoltameter eingeschaltet. Nach einer bestimmten Zeit wird der Strom unterbrochen und das Gewicht des abgeschiedenen Kupfers zu 50 Milligramm durch Wägung bestimmt (siehe Antwort auf Frage 332). Wieviel Silber wurde gleichzeitig an der Katode des Silbervoltameters niedergeschlagen und wieviel Wasser wurde in dem Gewichtswasservoltameter zersetzt?

Andeutung. Analog Aufgabe 3.

Aufgabe 104. Wieviel Silber würde ein elektrischer Strom in einem Silbervoltameter in einer bestimmten Zeit niedergeschlagen haben, wenn derselbe in der gleichen Zeit in einem Knallgasvoltameter 20 Kubikcentimeter Knallgas bei 0^0 Celsius und 760 Millimeter Barometerstand entwickelt, und wenn die elektromotorische Kraft und der Gesamtwiderstand des Stromkreises in beiden Fällen genau gleichgross ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 4.

Aufgabe 105. Wie lange muss ein elektrischer Strom von 10 Ampère Intensität auf ein Kupfervoltameter einwirken, um an der Katode desselben 1500 Milligramm Kupfer niederzuschlagen?

Andeutung. Analog Aufgabe 5.

Aufgabe 106. In den Stromkreis einer galvanischen Säule wurde ein Knallgasvoltameter eingeschaltet.

Der Stromkreis wurde genau 10 Minuten lang geschlossen,

das Volumen des in dem Messcylinder des Voltameters angesammelten Knallgases wurde zu 50 Kubikcentimeter abgelesen,

die Temperatur der Umgebung des Voltameters und Barometers betrug 16° Celsius,

der Barometerstand betrug 752 Millimeter,

als Absperrflüssigkeit wurde 20prozentige Schwefelsäure verwendet,

die Höhe der Flüssigkeitssäule in dem Messcylinder über dem Spiegel der Absperrflüssigkeit in der pneumatischen Wanne war 140 Millimeter.

Welches war die Stromstärke in Ampère in diesem Stromkreis während der Messung?

Andeutung. Die Aufgabe zerfällt in folgende zwei Teile:

1). Bestimmung der Stromstärke in Knallgas-Einheiten (analog Aufgabe 6);

2). Umrechnung dieser Knallgas-Einheiten in Ampère (analog Aufgabe 2).

Aufgabe 107. Die vorige Aufgabe soll nach Kohlrauschs Methode gelöst werden.

Andeutung. Analog Aufgabe 7.

Aufgabe 108. In den Stromkreis einer galvanischen Säule wurde eines der in den Antworten auf die Fragen 162 und 278 unter 1). bis 3). beschriebenen Voltameter eingeschaltet. Das Voltameter war mit 20-prozentiger Schwefelsäure gefüllt.

Nach 25 Minuten wurde der Stromkreis geöffnet,

das Volumen des durch den elektrischen Strom abgeschiedenen Wasserstoffs wurde zu 150 Kubikcentimeter abgelesen,

der Barometerstand betrug während der Messung 745 Millimeter,

die Temperatur der Umgebung war 20° Celsius,

die Höhe der Flüssigkeitssäule in dem Messcylinder über dem Spiegel der Absperrflüssigkeit in der pneumatischen Wanne war 15 Millimeter.

Wieviel Knallgas-Einheiten betrug die Stromstärke während der Messung?

Andeutung. Analog Aufgabe 8.

Aufgabe 109. Die vorige Aufgabe soll nach Kohlrauschs Methode gelöst werden.

Andeutung. Analog Aufgabe 9.

Aufgabe 110. Ein Knallgasvoltameter wurde in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet. Nach 15 Minuten wurde der Stromkreis geöffnet; der Messcylinder wurde alsdann in der in Erkl. 524 beschriebenen Weise derart in ein tieferes Absperrgefäss gesetzt, dass der Flüssigkeitsspiegel in demselben genau die gleiche Höhe hatte, wie die Flüssigkeit des tiefen Gefässes.

Alsdann wurde das Volumen des durch den elektrischen Strom abgeschiedenen Knallgases zu 220 Kubikcentimeter abgelesen,

der Barometerstand war während der Messung gleich 753 Millimeter,

die Temperatur der Umgebung betrug 20° Celsius,

als Absperrflüssigkeit diente Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,20.

Welche Stromstärke in Knallgas-Einheiten herrschte während der Messung in dem Stromkreis?

Andeutung. Analog Aufgabe 10.

Aufgabe 111. In den Stromkreis eines Rheomotors wurde ein Knallgasvoltameter eingeschaltet, dessen Messcylinder und pneumatische Wanne mit Quecksilber gefüllt war.

Der Stromkreis wurde 22 Minuten lang geschlossen,

das Volumen des in dem Messcylinder abgeschiedenen Knallgases wurde zu 130 Kubikcentimeter abgelesen,

die Temperatur der Umgebung des Voltameters und des Barometers betrug 18° Cels.,

der Barometerstand betrug während der Messung 748 Millimeter,

die Höhe der Quecksilbersäule in dem Messcylinder über dem Spiegel des Quecksilbers in der pneumatischen Wanne war 25 Millimeter.

Welches war die Stromstärke in Knallgas-Einheiten in diesem Stromkreis während der Messung?

Andeutung. Analog Aufgabe 11.

Aufgabe 112. Welches würde das Volumen des abgeschiedenen Knallgases bei der der vorigen Aufgabe zu Grunde liegenden Messung gewesen sein, wenn man den Messcylinder in einer solchen Höhe in der pneumatischen Wanne befestigt hätte, dass der Quecksilberspiegel in dem Messcylinder genau die gleiche Höhe gehabt hätte, wie der Quecksilberspiegel in der pneumatischen Wanne?

Andeutung. Analog Aufgabe 12 (siehe auch Erkl. 525).

Aufgabe 113. Der Glaskörper eines Gewichtsvoltameters von *Ledingham* wog

Andeutung. Analog Aufgabe 13.

73,5895 Gramm. Nachdem das Voltameter während 7 Minuten 10 Sekunden in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet war, betrug das Gewicht des Glaskörpers 72,1375 Gramm. Welche Stromstärke herrschte während dieser Messung in dem Stromkreis?

Aufgabe 114. Der gereinigte Platintiegel eines Silbervoltameters wog 35,3875 Gramm. Nachdem das Voltameter während genau 15 Minuten in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet war, wog der Platintiegel 36,7395 Gramm. Welche Stromstärke in Silber-Einheiten herrschte während der Messung in dem Stromkreis?

Andeutung. Analog Aufgabe 14.

Aufgabe 115. Die Platinplatte eines Kupfervoltameters wog 62,9275 Gramm. Nachdem das Voltameter während genau 20 Minuten in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet war, wog die Platinplatte 64,3290 Gramm. Welche Stromstärke in Kupfer-Einheiten herrschte während der Messung in dem Stromkreis?

Andeutung. Analog Aufgabe 15.

Aufgabe 116. In den Stromkreis einer konstanten galvanischen Säule wurde eine Tangentenbussole und ein Kupfervoltameter während genau 12 Minuten eingeschaltet.

Der Ablenkungswinkel der Magnetnadel der Bussole wurde von 2 zu 2 Minuten abgelesen und zwar zu

$43^0\ 45'$
$43^0\ 15'$
$42^0\ 30'$
$42^0\ 15'$
42^0
$41^0\ 30'$
$41^0\ 15'$

Die Platinplatte des Voltameters wog vor der Messung 52,9375 Gramm, und nach der Messung 53,4730 Gramm.

Welches ist der Reduktionsfaktor dieser Tangentenbussole für Kupfer-Einheiten?

Andeutung. Die Aufgabe zerfällt in folgende zwei Teile:

1). Berechnung der Stromstärke in Kupfer-Einheiten aus dem abgeschiedenen Kupfer (analog Aufgabe 15);

2). Berechnung des Reduktionsfaktors dieser Tangentenbussole für Kupfer-Einheiten (analog Aufgabe 16).

Aufgabe 117. Welches sind die Reduktionsfaktoren der in voriger Aufgabe untersuchten Tangentenbussole

1). für Knallgas-Einheiten?
2). für Wasserstoff-Einheiten?
3). für Wasser-Einheiten?
4). für Silber-Einheiten?
5). für Ampère?

Andeutung. Analog Aufgabe 17.

Aufgabe 118. Welchen Ablenkungswinkel bringt eine Stromstärke von 200 Knallgas-Einheiten an der Magnetnadel der in Aufgabe 116 untersuchten Tangentenbussole hervor?

Andeutung. Analog Aufgabe 18.

Aufgabe 119. Welchen Ablenkungswinkel bringt eine Stromstärke von 26 Ampère an der in Aufgabe 116 untersuchten Tangentenbussole hervor?

Andeutung. Analog Aufgabe 19.

Aufgabe 120. Die in Aufgabe 116 untersuchte Tangentenbussole wurde nebst einem Stromregulator in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet. Die Stromstärke wurde nun durch Veränderung des eingeschalteten Widerstands des Stromregulators mehrfach verändert und die den hierdurch veränderten Stromstärken entsprechenden Ablenkungswinkel der Magnetnadel der Tangentenbussole

1). zu 22° 30′
2). zu 27° 15′
3). zu 33° 30′
4). zu 46° 45′
5). zu 58° 15′

abgelesen. Welches sind die diesen fünf Ablenkungswinkeln entsprechenden Stromstärken in Silber-Einheiten und in Ampère?

Andeutung. Analog Aufgabe 20.

Aufgabe 121. In den Stromkreis einer galvanischen Säule wurde ein Knallgasvoltameter und eine Tangentenbussole eingeschaltet.

Der Stromkreis wurde 13 Minuten lang geschlossen,

das Volumen des in dem Messcylinder des Voltameters angesammelten Knallgases wurde zu 65 Kubikcentimeter abgelesen,

die Temperatur der Umgebung des Voltameters und Barometers betrug 20° Celsius,

der Barometerstand betrug 751 Millimeter,

als Absperrflüssigkeit wurde 20prozentige Schwefelsäure verwendet,

die Höhe der Flüssigkeitssäule in dem Messcylinder über dem Spiegel der Absperrflüssigkeit der pneumatischen Wanne war 75 Millimeter,

die zwischen je 2 Minuten beobachteten Ablenkungswinkel der Magnetnadel der Bussole waren

33° 45′
33°
32° 30′
32°
32°

Andeutung. Die Aufgabe zerfällt in folgende drei Teile:

1). Berechnung der Stromstärke in Knallgas-Einheiten aus den hierfür notierten Beobachtungen (analog Aufgabe 6);
2). Berechnung des mittleren Ablenkungswinkels aus den notierten 7 Ablesungen, welche in gleichen Zeiträumen angestellt wurden (s. Hilfsrechn. 1 zu Aufgabe 16);
3). Berechnung des Reduktionsfaktors aus der unter 1). berechneten Stromstärke und dem unter 2). berechneten Ablenkungswinkel (analog Aufgabe 16).

(Siehe auch Aufgabe 21.)

$31^0\ 45'$
$31^0\ 45'$
Welches ist der Reduktionsfaktor dieser Tangentenbussole für Knallgas-Einheiten?

Aufgabe 122. Eine Tangentenbussole wurde in den Stromkreis einer galvanischen Säule eingeschaltet und eine Ablenkung der Bussolenadel von 21^0 erhalten. Welchen Ablenkungswinkel bringt ein elektrischer Strom an der Nadel dieser Tangentenbussole hervor, dessen Stromstärke

1). $^1/_2$ mal
2). $1^1/_2$ mal
3). $2^1/_2$ mal
4). 4 mal

so gross ist als diejenige der erwähnten Säule?

Andeutung. Analog Aufgabe 22.

Aufgabe 123. Welche Stromstärke bringt an der in voriger Aufgabe erwähnten Tangentenbussole den Ablenkungswinkel von 45^0 hervor, wenn die dort erwähnte Stromstärke, welche den Ablenkungswinkel von 21^0 hervorbringt, als Einheit der Stromstärke betrachtet wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 23.

Aufgabe 124. Zwei galvanische Elemente von gleicher elektromotorischer Kraft befinden sich jedes für sich in einem besonderen Stromkreis. Die mittels einer Tangentenbussole gemessene Stromstärke in dem Stromkreis des ersten Elements ist 20mal so gross als die Stromstärke in dem Stromkreis des zweiten Elements. In welchem Verhältnis steht der Widerstand des ersten Stromkreises zu dem des zweiten Stromkreises?

Andeutung. Analog Aufgabe 24.

Aufgabe 125. Der gesamte Widerstand eines Stromkreises beträgt 25 Ohm, die elektromotorische Kraft des in demselben enthaltenen galvanischen Elements ist gleich 1,8 Volt. Wie gross ist die Stromstärke in Ampère in diesem Stromkreis?

Andeutung. Analog Aufgabe 25.

Aufgabe 126. Ein galvanisches Element, dessen wesentlicher Widerstand gleich w, und dessen elektromotorische Kraft gleich E ist, befindet sich in einem Stromkreis vom äusseren Widerstand r. Welches ist die Stromstärke J in diesem Stromkreis, und welches ist die Stromstärke J_1 in diesem Stromkreis, wenn der äussere Widerstand 5 mal so gross wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 26.

Aufgabe 127. Ein galvanisches Element, dessen wesentlicher Widerstand gleich 2 Siemens-Einheiten ist, wird durch einen Kupferdraht, dessen Widerstand gleich 5 Siemens-Einheiten ist, geschlossen; alsdann wird ein weiterer Kupferdraht in diesen Stromkreis eingeschaltet, dessen Widerstand gleich 10 Siemens-Einheiten ist. In welchem Verhältnis stehen die beiden Stromstärken dieses Stromkreises zu einander?

Andeutung. Analog Aufgabe 27.

Aufgabe 128. Die Stromstärke in dem in voriger Aufgabe erwähnten ersten Stromkreis wurde mittels einer Tangentenbussole, deren Widerstand so gering war, dass er vernachlässigt werden konnte, zu 35 Silber-Einheiten gemessen. Wieviel Silber-Einheiten beträgt die dort erwähnte zweite Stromstärke?

Andeutung. Analog Aufgabe 28.

Aufgabe 129. Welches ist die elektromotorische Kraft in Daniell-Einheiten oder in Volt des in den beiden vorigen Aufgaben erwähnten Elements?

Andeutung. Analog Aufgabe 29.

Aufgabe 130. Wie gross ist der äussere Widerstand eines Stromkreises in Ohm, wenn die Stromstärke in demselben gleich 3 Ampère, die elektromotorische Kraft gleich 4,3 Volt und der wesentliche Widerstand gleich 0,8 Ohm ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 31.

Aufgabe 131. Welches ist der äussere Widerstand eines Stromkreises A, welcher eine Säule von 20 galvanischen Elementen enthält, deren jedes die elektromotorische Kraft von 1,8 Volt und den wesentlichen Widerstand von 0,4 Ohm besitzt, wenn die Stromstärke in diesem Stromkreis die gleiche sein soll, wie in einem Stromkreis B, dessen äusserer Widerstand gleich 5 Ohm ist und welcher ein einziges solches Element enthält?

Andeutung. Analog Aufgabe 32.

Aufgabe 132. Es sind zwei Stromkreise A und B gegeben. Der Stromkreis A enthält eine Säule aus 15 galvanischen Elementen, deren jedes die elektromotorische Kraft 1,5 Volt und den wesentlichen Widerstand 0,6 Ohm besitzt. Der äussere Widerstand setzt sich zusammen aus dem Widerstand der Leitung, welcher 5 Ohm beträgt, und dem Widerstand eines eingeschalteten Multipliklators (siehe Antw. auf Frage 176), welcher 1,5 Ohm beträgt. Der Stromkreis

Andeutung. Analog Aufgabe 33.

B enthält nur ein gleiches Element. Welche Grösse muss der Widerstand der Leitung des Stromkreises *B* besitzen, damit bei Einschaltung des oben erwähnten Multiplikators die Stromstärke in diesem Stromkreis die gleiche ist, wie nach Einschaltung des Multiplikators in den Stromkreis *A* in diesem Stromkreis?

Aufgabe 133. Ein rechteckiges Gefäss aus Glas ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, und in dem Gefäss stehen eine Kupferplatte und eine Zinkplatte, so dass das Ganze ein Voltasches Becher-Element bildet. Das Element wird in einen Stromkreis vom äusseren Widerstand 5 Ohm, und bei einem bestimmten Abstand zwischen beiden Platten, wobei der wesentliche Widerstand des Elements gleich 1 Ohm ist, die Stromstärke gleich 0,12 Ampère gefunden. Welches ist alsdann die Stromstärke in diesem Stromkreis, wenn der Abstand der beiden Platten 3 mal so gross gemacht wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 34.

Aufgabe 134. Welches ist die Stromstärke in dem in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreis, wenn der ursprüngliche Abstand der beiden Platten 3 mal kleiner gemacht wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 35.

Aufgabe 135. Welches ist die Stromstärke in dem in Aufgabe 133 beschriebenen Stromkreis, wenn die Platten 3 mal kleiner gemacht werden und der ursprüngliche Abstand zwischen denselben beibehalten wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 36.

Aufgabe 136. Welches ist die Stromstärke in dem in Aufgabe 133 beschriebenen Stromkreis, wenn die Platten 3 mal grösser gemacht werden und der ursprüngliche Abstand zwischen denselben beibehalten wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 37.

Aufgabe 137. Welches sind die Stromstärken in dem in Aufgabe 133 beschriebenen Stromkreis:

1). Wenn der ursprüngliche Abstand zwischen den Platten 3 mal grösser und gleichzeitig die Platten 3 mal grösser gemacht werden?

2). Wenn der ursprüngliche Abstand zwischen den Platten 3 mal grösser und gleichzeitig die Platten 3 mal kleiner gemacht werden?

3). Wenn der ursprüngliche Abstand zwischen den Platten 3 mal kleiner und gleich-

Andeutung. Analog Aufgabe 38.

zeitig die Platten 3 mal grösser gemacht werden?

4). Wenn der ursprüngliche Abstand zwischen den Platten 3 mal kleiner und gleichzeitig die Platten 3 mal kleiner gemacht werden?

Aufgabe 138. Ein galvanisches Element, dessen wesentlicher Widerstand gleich 0,5 Ohm ist, wird durch einen Leiter vom äusseren Widerstand 7 Ohm geschlossen und die Stromstärke in diesem Stromkreis gleich 0,24 Ampère bestimmt. Ein zweites galvanisches Element von gleicher elektromotorischer Kraft wie das erste, welches jedoch 4 mal so gross ist als das erste Element, soll, wenn es durch den gleichen Leiter geschlossen wird, wie das erste Element, die gleiche Stromstärke bewirken wie das erste Element. Welches muss der wesentliche Widerstand dieses zweiten Elements sein?

Andeutung. Analog Aufgabe 39.

Aufgabe 139. Ein galvanisches Element vom wesentlichen Widerstand 0,7 Ohm ist in einen Stromkreis vom äusseren Widerstand 5 Ohm eingeschaltet. Die Stromstärke in diesem Stromkreis ist gleich 0,2 Ampère. Bei welchem äusseren Widerstand wird durch eine Säule von 6 solcher Elemente eine Stromstärke von 0,5 Ampère erhalten?

Andeutung. Analog Aufgabe 40.

Aufgabe 140. Ein galvanisches Element vom wesentlichen Widerstand 0,6 Ohm wird in einen Stromkreis eingeschaltet, welcher eine Tangentenbussole enthält. Der Widerstand der Tangentenbussole ist gleich 0,01 Ohm, der übrige äussere Widerstand ist gleich 4 Ohm. Die Stromstärke wurde gleich 0,3 Ampère gefunden. Alsdann wurde eine Säule von 6 solcher Elemente in einen Stromkreis eingeschaltet, welcher die erwähnte Tangentenbussole enthält. Wie gross muss der äussere Widerstand ausser dem Widerstand der Tangentenbussole sein, damit in diesem zweiten Stromkreis die Stromstärke gleich 0,4 Ampère ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 41.

Aufgabe 141. In einem Stromkreis befindet sich eine Säule von 8 Elementen, deren jedes die elektromotorische Kraft 1,7 Volt und den wesentlichen Widerstand 0,4 Ohm besitzt. Der äussere Widerstand des Stromkreises ist gleich 13 Ohm. Welche Stromstärke in Ampère herrscht in diesem Stromkreis und wieviel solcher Elemente muss man dieser Säule hinzufügen, damit

Andeutung. Der erste Teil der Aufgabe ist mittels Formel 17 zu lösen. Der zweite Teil der Aufgabe ist analog Aufgabe 42.

die Stromstärke beim gleichen äusseren Widerstand dann doppelt so gross ist, als die Stromstärke in dem ersten Stromkreis?

Aufgabe 142. 7 galvanische Elemente, deren jedes eine elektromotorische Kraft von 0,9 Volt und einen Widerstand von 0,6 Ohm besitzt, werden parallel geschaltet und durch einen Leiter geschlossen, dessen Widerstand 4 Ohm beträgt. Wie gross ist die Stromstärke in Ampère in diesem Stromkreis?

Andeutung. Analog Aufgabe 44.

Aufgabe 143. Wieviel parallel geschaltete Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft von 1,7 Volt und den Widerstand von 0,3 Ohm besitzt, sind erforderlich, um in einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 3 Ohm ist, eine Stromstärke von 5 Ampère zu liefern?

Andeutung. Die Aufgabe ist unlösbar. Es ist der Grund hierfür festzustellen (analog Aufgabe 45). Siehe auch Aufgabe 46.

Aufgabe 144. Welches ist der grösstmögliche äussere Widerstand des in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreises, damit bei Anwendung

1). von 10
2). von 100
3). von 1000

parallel geschalteten Elementen die Stromstärke gleich 5 Ampère wird?

Andeutung. Siehe Aufgabe 46. Man bestimme aus Formel 22 den äusseren Widerstand und setze die in der Aufgabe gegebenen Zahlenwerte für die Stromstärke, die elektromotorische Kraft, den wesentlichen Widerstand eines einzelnen Elements und die Anzahl der Elemente ein.

Aufgabe 145. In einem Stromkreis befinden sich 48 galvanische Elemente, von welchen je 8 hintereinander geschaltet und die hierdurch entstehenden 6 Säulen parallel geschaltet sind. Die elektromotorische Kraft jedes dieser Elemente ist gleich 1,5 Volt, der Widerstand jedes dieser Elemente ist gleich 0,6 Ohm, der äussere Widerstand dieses Stromkreises ist gleich 11 Ohm. Welche Stromstärke in Knallgas-Einheiten herrscht in diesem Stromkreis?

Andeutung. Die Aufgabe zerfällt in folgende zwei Teile:

1). Bestimmung der Stromstärke in Ampère (analog Aufgabe 47);
2). Umrechnung der Stromstärke aus Ampère in Knallgas-Einheiten (analog Aufgabe 2 oder Erkl. 694).

Aufgabe 146. Wieviel Siemens-Einheiten muss der äussere Widerstand des in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreises betragen, damit die Stromstärke gleich 50 Knallgas-Einheiten wird?

Andeutung. Die Aufgabe zerfällt in folgende drei Teile:

1). Umrechnung von 50 Knallgas-Einheiten in Ampère (analog Aufgabe 2 oder Erkl. 694);
2). Berechnung des äusseren Widerstands in Ohm (analog Aufgabe 48);
3). Umrechnung des berechneten Widerstands aus Ohm in Siemens-Einheiten nach Antwort auf Frage 359.

Aufgabe 147. 125 galvanische Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft von 1,2 Volt und einen Widerstand von 0,5 Ohm

Andeutung. Analog Aufgabe 49.

besitzt, sollen derart geschaltet werden, dass in deren Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 2,5 Ohm ist, die grösstmögliche Stromstärke erreicht wird?

Aufgabe 148. Welches ist die Stromstärke in Ampère, welche in dem in voriger Aufgabe verlangten Stromkreis erhalten wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 50. Die Aufgabe kann auf zweierlei Art gelöst werden.

Aufgabe 149. 72 gleichartige galvanische Elemente, deren jedes eine elektromotorische Kraft von 1,5 Volt und einen wesentlichen Widerstand von 0,3 Ohm besitzt, sollen zu einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 2,5 Ohm ist, vereinigt werden, so zwar, dass die Stromstärke in diesem Stromkreis möglichst gross ist. Wie müssen diese Elemente geschaltet werden, und welches ist die dabei erhaltene Stromstärke in Ampère?

Andeutung. Analog Aufgabe 51. Die Aufgabe kann auf zweierlei Art gelöst werden.

Aufgabe 150. Mit 50 galvanischen Elementen, deren jedes eine elektromotorische Kraft von 1,2 Volt und einen Widerstand von 0,4 Ohm besitzt, soll eine Stromstärke von 12 Ampère erreicht werden. Welches ist der grösstmögliche äussere Widerstand, welchen man hierzu anwenden kann?

Andeutung. Analog Aufgabe 53.

Aufgabe 151. Wie sind die in voriger Aufgabe erwähnten Elemente zu schalten, damit dieselben bei dem grösstmöglichen äusseren Widerstand eine Stromstärke von 12 Ampère bewirken?

Andeutung. Analog Aufgabe 54.

Aufgabe 152. In einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 5 Ohm ist, sind 144 Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft 1,5 Volt und den Widerstand 0,6 Ohm hat, einmal sämtlich hintereinander, das andere Mal zu je 6 Elementen parallel geschaltet. Es sind die Bedingungen aufzusuchen, unter welchen beidemal die gleiche Stromstärke erreicht wird, und es ist diese Stromstärke in Ampère zu berechnen?

Andeutung. Analog Aufgabe 55.

Aufgabe 153. In einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 3 Siemens-Einheiten ist, sind 40 Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft 1,5 Daniell und den Widerstand 0,5 Siemens-Einheiten hat, einmal sämtlich hintereinander, das andere Mal zu je 10 Elementen parallel geschaltet. Es sind die Bedingungen aufzusuchen, unter

Andeutung. Die Aufgabe zerfällt in folgende fünf Teile:

1). Feststellung der in der Aufgabe verlangten Bedingungen nach Auflösung der Aufgabe 55 [siehe dort Formel f).];

2). Umrechnung des Widerstands der Elemente von Siemens-Einheiten auf Ohm nach Antwort auf Frage 359;

welchen beidemal die gleiche Stromstärke erreicht wird, und diese Stromstärke ist in Knallgas-Einheiten zu bestimmen?

3). Umrechnung der elektromotorischen Kraft der Elemente von Daniell auf Volt nach Antwort auf Frage 379;

4). Berechnung der in der Aufgabe verlangten Stromstärke in Ampère nach Auflösung der Aufgabe 55 [siehe dort Formel g).];

5). Umrechnung der Stromstärke von Ampère auf Knallgas-Einheiten nach Auflösung der Aufgabe 2 oder nach Erkl. 694.

Aufgabe 154. 24 galvanische Elemente, jedes von der elektromotorischen Kraft 1,2 Volt und dem Widerstand 0,3 Ohm, befinden sich in Hintereinanderschaltung (sind zur Säule verbunden) in einem Stromkreis vom äusseren Widerstand 4 Ohm. Welche Anzahl dieser Elemente liefert zu je 3 parallelen Elementen bei dem gleichen äusseren Widerstand die gleiche Stromstärke wie die ersterwähnte Säule von 24 dieser Elemente, und welches ist die Stromstärke in beiden Stromkreisen?

Andeutung. Nach Auflösung der Aufgabe 56. Die Stromstärke ist nach der dortigen Gleichung a). oder nach Formel 18 zu berechnen.

Aufgabe 155. Es ist eine Zinkplatte und eine Kupferplatte, beide von 100 Quadratdecimeter gegeben. Dieselben sollen zerschnitten und in vorhandenen Elementgefässen zu Elementen zusammengestellt werden (siehe Erkl. 714), und es soll mit diesen so erhaltenen Elementen in einem Stromkreis, dessen äusserer Widerstand gleich 6 Ohm ist, die grösstmögliche Stromstärke erzielt werden. Welches ist die geringste Anzahl von Platten, in welche man jede dieser beiden Platten zerschneiden muss, und welches ist in Ampère diese Stromstärke, wenn die elektromotorische Kraft eines dieser Elemente gleich 0,7 Volt, und wenn der Widerstand des Elements, welches man aus den beiden unzerschnittenen Platten bildet, gleich 0,06 Ohm ist?

Andeutung. Bei der Aufgabe gilt als Voraussetzung, dass die Entfernung zwischen der Zinkplatte und Kupferplatte eines dieser Elemente stets genau die gleiche ist, einerlei wieviel Elemente man aus den gegebenen Platten bildet.

Die Aufgabe ist analog der Aufgabe 58. Nur ist in Aufgabe 58 der Widerstand eines solchen Elements von 1 Quadratdecimeter Plattengrösse gegeben, während in nebenstehender Aufgabe der Widerstand eines Elements von 100 Quadratdecimeter Plattengrösse gegeben ist. Man bestimme demnach zunächst den Widerstand eines Elements von 1 Quadratdecimeter Grösse aus dem gegebenen Widerstand eines Elements von 100 Quadratdecimeter Grösse, wobei man die in den Auflösungen der Aufgaben 36 und 37 für das Verhältnis der Plattengrösse zum Widerstand angestellte Betrachtung zu berücksichtigen hat. Alsdann verfahre man nach Aufgabe 58.

Aufgabe 156. 8 Grove-Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft 1,9 Volt und den Widerstand 0,6 Ohm besitzt, werden hintereinander geschaltet (zur Säule verbunden); ferner werden 4 Daniell-Elemente, deren jedes die elektromotorische Kraft 1,1 Volt und den Widerstand 0,9 Ohm besitzt, ebenfalls zu einer Säule verbunden. Diese beiden Säulen werden mit den gleichnamigen Polen zu einem Stromkreis verbunden, so dass die elektromotorischen Kräfte dieser beiden Säulen einander entgegenwirken. Welche Stromstärke herrscht in diesem Stromkreis, wenn der äussere Widerstand gleich 11 Ohm ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 59.

Aufgabe 157. Statt der 4 Daniell-Elemente werden in den in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreis 4 Grove-Elemente von gleicher elektromotorischer Kraft und gleichem Widerstand, wie die in voriger Aufgabe erwähnten Grove-Elemente, eingeschaltet. Welche Stromstärke in Ampère herrschte alsdann in diesem Stromkreis?

Andeutung. Analog Aufgabe 61 unter 1).

Aufgabe 158. Aus dem in voriger Antwort beschriebenen Stromkreis werden 4 von den ersten 8 Grove-Elementen entfernt, so dass beide Säulen je 4 Grove-Elemente enthalten. Welche Stromstärke herrscht alsdann in diesem Stromkreis?

Andeutung. Analog Aufgabe 61 unter 2).

Aufgabe 159. Es ist ein einfach verzweigter Stromkreis gegeben (siehe Fig. 198), in dessen einem Zweig $\overline{aRb}$ sich eine galvanische Säule R befindet.

Die elektromotorische Kraft der Säule ist gleich 25 Volt,

der Widerstand der Säule und der Zuleitungsdrähte $\overline{aR}$ und $\overline{bR}$ ist gleich 7 Ohm,

der Widerstand des Zweigs $\overline{acb}$ ist gleich 11 Ohm,

der Widerstand des Zweigs $\overline{adb}$ ist gleich 17 Ohm.

Es sollen die Stromstärken

1). im Zweig $\overline{aRb}$

2). im Zweig $\overline{acb}$

3). im Zweig $\overline{adb}$

in Ampère bestimmt werden.

Die Richtigkeit der Auflösung ist mittels des ersten Kirchhoffschen Satzes zu prüfen.

Andeutung. Analog Aufgabe 62. Die Prüfung der Richtigkeit erfolgt mittels Formel 30a (siehe auch Erkl. 715).

Aufgabe 160. Es soll der gesamte Widerstand des in voriger Aufgabe beschriebenen Stromkreises bestimmt werden.

Andeutung. Analog Aufgabe 63.

Aufgabe 161. Die beiden Zweige $\overline{acb}$ und $\overline{adb}$ des in Aufgabe 159 definierten Stromkreises sollen durch einen einzigen Leiter ersetzt werden. Welche Grösse muss der Widerstand dieses einzigen Leiters besitzen, damit die Stromstärke in dem nunmehr unverzweigten Stromkreis die gleiche ist wie die Stromstärke in dem unverzweigten Teil $\overline{aRb}$ des in Aufgabe 159 definierten verzweigten Stromkreises?

Die Richtigkeit der Aufgabe ist mittels des Ohmschen Gesetzes zu prüfen.

Andeutung. Analog Aufgabe 64. Die Prüfung der Richtigkeit erfolgt mittels Formel 17.

Aufgabe 162. Ein galvanisches Element ist durch einen unverzweigten Leiter geschlossen, dessen Widerstand gleich 5 Ohm ist. Dieser Leiter soll durch zwei Leiter ersetzt werden, so dass der Stromkreis ein einfach verzweigter wird, und zwar sollen diese beiden Leiter den gleichen Widerstand besitzen. Wie gross muss der Widerstand jedes dieser beiden Zweigleiter sein, damit die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des verzweigten Stromkreises die gleiche ist, wie in dem vorherigen unverzweigten Stromkreis?

Andeutung. Analog Aufgabe 65.

Aufgabe 163. 20 Bunsen-Elemente, deren jedes eine elektromotorische Kraft von 1,8 Volt und einen Widerstand von 0,4 Ohm besitzt, werden zur Säule verbunden (hintereinander geschaltet) und durch einen Leiter A, dessen Widerstand gleich 23 Ohm ist, geschlossen. Es soll nun ein Leiter B neben den Leiter A geschaltet werden, und zwar soll dessen Widerstand so gewählt werden, dass alsdann die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des Stromkreises doppelt so gross wird als in dem ersten unverzweigten Stromkreis.

1). Welche Stromstärke herrschte in dem unverzweigten Stromkreis?

2). Welchen Widerstand in Ohm muss der Leiter B haben?

3). Welche Stromstärken herrschten in dem Zweig A und in dem Zweig B des zweiten verzweigten Stromkreises?

Die Richtigkeit der Auflösung von 2). ist mittels Formel 37 und Formel 17 zu prüfen (siehe auch Erkl. 717), diejenige von 3). mittels des ersten Kirchhoffschen Satzes (Formel 30^a).

Andeutung. 1). Analog dem ersten Teil von Aufgabe 26.

2). Analog Aufgabe 66.

3). Analog Aufgabe 67.

Aufgabe 164. Eine galvanische Säule R (siehe Fig. 199) befindet sich in einem Stromkreis, in welchem zwischen den Punkten a und b drei parallele Leiter abgezweigt sind.

Der wesentliche Widerstand der Säule ist gleich 6 Ohm,

der Widerstand des Leiters von R bis a ist gleich 2 Ohm,

der Widerstand des Leiters von R bis b ist gleich 3 Ohm,

der Widerstand des Zweigs $\overline{acb}$ ist gleich 8 Ohm,

der Widerstand des Zweigs $\overline{adb}$ ist gleich 10 Ohm,

der Widerstand des Zweigs $\overline{aeb}$ ist gleich 12 Ohm.

Welches ist der Gesamtwiderstand in diesem Stromkreis?

Andeutung. Analog Aufgabe 68.

Aufgabe 165. Welches ist der gesamte äussere Widerstand des in voriger Aufgabe definierten Stromkreises?

Andeutung. Analog Aufgabe 69.

Aufgabe 166. Die drei parallelen Zweige des in Aufgabe 164 definierten Stromkreises sollen durch einen einzigen Leiter ersetzt werden.

Welches muss der Widerstand desselben sein, damit die Stromstärke in dem nunmehr unverzweigten Stromkreis die gleiche bleibt, wie in dem Teil $\overline{aRb}$ des vorherigen Stromkreises?

Andeutung. Analog Aufgabe 70.

Aufgabe 167. Der in voriger Aufgabe berechnete einfache Ersatzleiter soll wiederum durch drei parallele Leiter ersetzt werden, welche jedoch alle drei den gleichen Widerstand besitzen. Wie gross muss der Widerstand eines jeden dieser Leiter sein, damit die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des Stromkreises die gleiche bleibt?

Andeutung. Analog Aufgabe 71. Die Auflösung kann mittels Formel 43 oder auch mittels Formel 30[a] und Gleichung b). in Antwort auf Frage 350 erfolgen.

Aufgabe 168. Welches sind die Stromstärken

1). im Zweig $\overline{aRb}$ (siehe Figur 199)
2). im Zweig $\overline{acb}$
3). im Zweig $\overline{adb}$
4). im Zweig $\overline{aeb}$

des in Aufgabe 164 definierten doppelt verzweigten Stromkreises, wenn die elektromotorische Kraft der erwähnten Säule gleich 15 Volt ist?

Die Auflösung ist 1). mittels des ersten Kirchhoffschen Satzes und 2). mittels des Ohmschen Gesetzes zu prüfen (s. auch die Erkl 718 u. 719).

Andeutung. Analog Aufgabe 72.

Aufgabe 169. In einem doppelt verzweigten Stromkreis sind die Widerstände der drei Zweigleiter gleich 5, 9 und 13 Ohm. Die beiden ersten Zweigleiter sollen durch einen einzigen Zweigleiter ersetzt werden. Wie gross muss der Widerstand dieses Ersatzleiters sein, damit die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des nunmehr einfach verzweigten Stromkreises die gleiche bleibt wie vorher?

Andeutung. Analog Aufgabe 73.

Aufgabe 170. Welches ist in Ampère die Stromstärke in dem unverzweigten Teil des in voriger Aufgabe definierten Stromkreises, wenn die elektromotorische Kraft des Rheomotors gleich 1,3 Daniell, und wenn der Widerstand des den Rheomotor enthal-

Andeutung. Die Aufgabe zerfällt in folgende drei Teile:

1). Umrechnung der elektromotorischen Kraft von Daniell auf Volt (nach Antwort auf Frage 379);
2). Umrechnung des Widerstands von Sie-

tenden unverzweigten Teils gleich 2 Siemens-Einheiten ist?

Die Aufgabe ist auf drei Wegen zu lösen.

mens-Einheiten auf Ohm (nach Antwort auf Frage 359);

3). Berechnung der verlangten Stromstärke in Ampère (analog Aufgabe 74).

Aufgabe 171. In einem einfach verzweigten Stromkreis, siehe Figur 200, befinden sich zwei galvanische Elemente E_1 und E_2, und zwar E_1 in dem Zweig $\overline{aE_1b}$ und E_2 in dem Zweig $\overline{aE_2b}$, während der Zweig $\overline{acb}$ kein Element enthält.

Die elektromotorischen Kräfte von E_1 bezw. E_2 sind gleich 1,8 bezw. 1,3 Volt,

der Widerstand des Zweigs $\overline{aE_1b}$ ist gleich 0,7 Ohm,

der Widerstand des Zweigs $\overline{aE_2b}$ ist gleich 0,4 Ohm,

der Widerstand des Zweigs $\overline{acb}$ ist gleich 0,2 Ohm,

die Elemente sind mit den gleichnamigen Polen verbunden.

Welches sind in Ampère die Stromstärken in den drei Zweigen dieses Stromkreises?

Andeutung. Analog Aufgabe 75.

Aufgabe 172. Welchen Widerstand muss man bei dem in voriger Aufgabe definierten Stromkreis in dem Zweig $\overline{acb}$ hinzuschalten, damit der Zweig $\overline{aE_2b}$ stromlos wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 76.

Aufgabe 173. Welches sind in Ampère die Stromstärken in den Zweigen $\overline{acb}$ und $\overline{aE_1b}$ des in Aufgabe 171 definierten Stromkreises, wenn der Widerstand des Zweigs $\overline{acb}$ die in voriger Aufgabe verlangte Grösse hat?

Die Richtigkeit der Lösung ist zu prüfen.

Andeutung. Analog Aufgabe 77. Die Prüfung der Richtigkeit erfolgt mittels des ersten Kirchhoffschen Satzes (siehe Formel 30[a]).

Aufgabe 174. Welchen Widerstand muss man in den Zweig $\overline{acb}$ des in Aufgabe 171 definierten Stromkreises hinzuschalten, damit der Zweig $\overline{aE_1b}$ stromlos wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 78. Es ist zu untersuchen, warum die Aufgabe unlösbar ist.

Aufgabe 175. Die Elemente des in Aufgabe 171 definierten Stromkreises werden mit den ungleichnamigen Polen verbunden (siehe Figur 201). Welches ist in Ampère die Stromstärke in dem Zweig $\overline{abc}$?

Andeutung. Analog Aufgabe 79.

Aufgabe 176. Der Widerstand des Zweigs $\overline{aE_2b}$ des in voriger Aufgabe definierten Stromkreises soll derart abgerundet werden, dass der Zweig $\overline{acb}$ stromlos wird.

Andeutung. Analog Aufgabe 80.

Aufgabe 177. Angenommen, der wesentliche Widerstand des Elements R_2 des in Aufgabe 175 definierten Stromkreises sei grösser als der den Bedingungen der vorigen Aufgabe entsprechend berechnete Wert, so dass also der Zweig $\overline{acb}$ nicht, wie in voriger Aufgabe verlangt wurde, durch Verminderung des Widerstands des Zweigs $\overline{aR_2b}$ stromlos gemacht werden kann. Diese Stromlosigkeit soll nun durch Abänderung des Widerstands des Zweigs $\overline{aR_1b}$ erreicht werden.

Andeutung. Analog Aufgabe 81.

Aufgabe 178. Welches sind die Stromstärken in den Zweigen $\overline{aR_1b}$ und $\overline{aR_2b}$ des in Aufgabe 175 definierten Stromkreises? Die Richtigkeit der Lösung ist zu prüfen.

Andeutung. Analog Aufgabe 82. Man achte auf die Vorzeichen der Stromstärken. Die Prüfung der Richtigkeit erfolgt mittels des ersten Kirchhoffschen Satzes (Formel 30a).

Aufgabe 179. Welches ist die Stromstärke in den Zweigen $\overline{aR_1b}$ und $\overline{aR_2b}$ des in Aufgabe 175 definierten Stromkreises für die in den Aufgaben 176 und 177 bezeichneten beiden Fälle, dass der Zweig $\overline{acb}$ stromlos wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 83.

Aufgabe 180. Welches ist das Maximum der Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$ des in Aufgabe 175 definierten Stromkreises, wenn lediglich der Widerstand des Zweigs $\overline{aR_1b}$ veränderlich ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 84. Siehe Erkl. 726.

Aufgabe 181. Es sind die dem in voriger Aufgabe verlangten Maximum der Stromstärke in dem Zweig $\overline{acb}$ entsprechenden Stromstärken in den Zweigen $\overline{aR_1b}$ und $\overline{aR_2b}$ zu bestimmen.
Die Richtigkeit der Lösung ist zu prüfen.

Andeutung. Analog Aufgabe 85. Die Prüfung der Richtigkeit erfolgt mittels des ersten Kirchhoffschen Satzes (Formel 30a). Man achte auf die Vorzeichen der Stromstärken.

Aufgabe 182. In einem Stromkreis mit Brückenverzweigung (siehe Figur 202) sind die Widerstände

im Zweig $\overline{ac} = 5$ Ohm,
im Zweig $\overline{cb} = 2$ Ohm,
im Zweig $\overline{ad} = 17$ Ohm.

Welchen Widerstand muss der Zweig $\overline{bd}$ haben, damit die Brücke $\overline{cd}$ stromlos ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 86.

Aufgabe 183. Eine möglichst genau cylindrische Glasröhre von 2,3 Meter Länge

Andeutung. Analog Aufgabe 87.

ist mit Quecksilber gefüllt. Das Gewicht des Quecksilbers beträgt 12 Gramm. Welches ist in Siemens-Einheiten der Widerstand dieser Quecksilbersäule?

Aufgabe 184. Welche Länge in Meter muss eine Quecksilbersäule von 300 Milligramm Gewicht besitzen, damit ihr Leitungswiderstand gleich 1 Siemens-Einheit ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 88.

Aufgabe 185. Es ist ein Leitungsdraht von 4,5 Meter Länge und 4 Millimeter Durchmesser und ein Leitungsdraht aus demselben Metall von 3,2 Meter Länge und 1,8 Millimeter Durchmesser gegeben. Wie gross ist der Leitungswiderstand des zweiten Drahts, wenn derjenige des ersten als Einheit des Leitungswiderstands angenommen wird?

Andeutung. Analog Aufgabe 89.

Aufgabe 186. Wieviel Ohm Widerstand besitzt bei 18° Celsius ein Bleidraht von rechteckigem Querschnitt, welcher 30 Meter lang, 3 Millimeter breit und 4,5 Millimeter hoch ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 90.

Aufgabe 187. Wieviel Ohm besitzt bei 35° Celsius ein Eisendraht von rundem Querschnitt, welcher eine Länge von 250 Meter und einen Durchmesser von 3 Millimeter hat, wenn das spezifische Leitungsvermögen des Eisens bei 18° Celsius gleich 8 ist, bezogen auf das des Quecksilbers bei 0° Celsius als Einheit?

Andeutung. Analog Aufgabe 91.

Aufgabe 188. Welchen Durchmesser muss ein Kupferdraht von 50 Meter Länge besitzen, damit er denselben Widerstand hat wie ein Kupferdraht von 4 Millimeter Durchmesser und 5 Meter Länge?

Andeutung. Analog Aufgabe 92.

Aufgabe 189. Wieviel Siemens-Einheiten beträgt der Widerstand eines Kupferdrahts von 40 Meter Länge und 2,5 Millimeter Durchmesser, wenn das spezifische Leitungsvermögen dieses Kupfers gleich 56, bezogen auf das des Quecksilbers ist (s. Erkl. 730)?

Andeutung. Analog Aufgabe 93.

Aufgabe 190. Wie lang muss ein Kupferdraht von 5 Millimeter Durchmesser sein, damit derselbe einen Widerstand von 1 Siemens-Einheit hat?

Andeutung. Analog Aufgabe 94.

Aufgabe 191. Ein Leitungsdraht von 3 Millimeter Durchmesser soll durch zwei unter sich gleich dicke Drähte von gleicher Länge und gleichem Material wie der erste ersetzt werden. Welchen Durchmesser müssen die Ersatzdrähte haben, damit sie zusammen den gleichen Widerstand besitzen, wie der erste Draht?

Andeutung. Analog Aufgabe 95.

Aufgabe 192. Statt der in voriger Aufgabe verlangten beiden Ersatzdrähte sollen deren drei von gleichem Durchmesser genommen werden. Welchen Durchmesser muss jeder dieser drei Ersatzdrähte haben, damit sie zusammen den gleichen Widerstand besitzen, wie der erste Draht?

Andeutung. Analog Aufgabe 95.

Aufgabe 193. Ein Eisendraht von 7 Millimeter Durchmesser soll durch einen Neusilberdraht von gleicher Länge ersetzt werden. Welchen Durchmesser muss dieser Neusilberdraht besitzen, damit der Widerstand desselben der gleiche ist, wie der des Eisendrahts, wenn das spezifische Leitungsvermögen des Eisens gleich 8, das des Neusilbers gleich 4 ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 96.

Aufgabe 194. In einem Stromkreis soll ein Neusilberdraht von 40 Meter Länge und 6 Millimeter Durchmesser durch einen Kupferdraht von 2 Millimeter Durchmesser ersetzt werden, ohne dass sich die Stromstärke in dem Stromkreis ändert. Welche Länge muss der Kupferdraht haben, wenn das spezifische Leitungsvermögen des Kupfers gleich 54, dasjenige des Neusilbers gleich 4 ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 99.

Aufgabe 195. Welchen Durchmesser muss ein Eisendraht von 30 Meter Länge haben, damit er denselben Widerstand besitzt, wie ein Neusilberdraht von 20 Meter Länge und 4 Millimeter Durchmesser, wenn das spezifische Leitungsvermögen des Eisens gleich 8, dasjenige des Neusilbers gleich 4 ist?

Andeutung. Analog Aufgabe 100.

III. Formelnverzeichnis.

Zusammenstellung der Formeln, welche in diesem Lehrbuch entwickelt und benutzt sind.

Anmerkung. Die Bedeutung der Buchstaben findet man in den angegebenen Antworten und Erklärungen.

Formeln über elektrische Dichte, Dichtedifferenz und elektromotorische Kraft.

		Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 1:	$D = \frac{M}{F}$		317	
Formel 2:	$d = 2D$		318. 319	
Formel 3:	$E : E_1 = d : d_1$		320	
Formel 4:	a). $E = cn$	b).	321	
	b). $E : E_1 = en : e_1 n_1$	f).	321	
	c). $E : E_1 = n : n_1$	g).	321	
	d). $E : E_1 = e : e_1$	h).	321	

Formeln über Stromstärke.

		Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 5:	$J : J_1 = m : m_1$	a).	323	
	Für die Bestimmung der Stromstärke mittels des Knallgasvoltameters:			
Formel 6:	$b_0 = b_t - 0{,}135\,t$	1).	327	517
Formel 7:	$h = b_0 - H \cdot \frac{s}{13{,}6} - f$	2).	327	
Formel 7a:	(über Quecksilber aufgefangen) $h = b_0 - H$	b).		523
Formel 7b:	(für $H = 0$) $h = b_0 - f$			524
Formel 8:	$V_0 = \frac{V_t}{1 + 0{,}00367\,t} \cdot \frac{h}{760}$	3).	327	
Formel 9:	$V = \frac{V_0}{n}$	4).	327	
	Für die Berechnung nach *Kohlrausch* (mit 20proz. Schwefelsäure):			
Formel 10:	$h = b - \frac{1}{12} H$	b).	328	
	Korrektionswerte hierzu siehe Tabelle			530
	Für die Bestimmung der Stromstärke mittels der Tangentenbussole:			
Formel 11:	$J = H \,.\, \mathrm{tg}\,\alpha$	i).	334	
Formel 12:	$J : J_1 = \mathrm{tg}\,\alpha : \mathrm{tg}\,\alpha_1$	m).	334	
	Für den Reduktionsfaktor der Tangentenbussole:			
Formel 13:	$\mathrm{tg}\,\alpha : \mathrm{tg}\,45^0 = J : x$	a).	335	

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 14: $x = \frac{J}{\operatorname{tg} \alpha}$	b).	335	
Formel 15: $J = x \cdot \operatorname{tg} \alpha$	d).	335	

Formeln über das Ohmsche Gesetz.

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 16: $J = \frac{E}{W}$	d).	337	
Formel 16a: $J : J_1 = W_1 E : W E_1$	c).	337	
Formel 17: $J = \frac{E}{w + r}$	b).	338	

Für eine Säule aus n Elementen:

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 18: $J = \frac{n e}{n w + r}$	d).	339	

Bei sehr kleinem wesentlichem Widerstand:

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 19: (annähernd) $J = \frac{n e}{r}$	a).	340	

Bei sehr kleinem äusserem Widerstand:

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 20: (annähernd) $J = \frac{e}{w}$	b).	340	

Für den Fall, dass der äussere Widerstand gleich dem wesentlichen Widerstand ist:

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 21: $J = \frac{e}{r\left(1 + \frac{1}{n}\right)}$	d).	340	

Für n parallele Elemente:

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 22: $J = \frac{e}{\frac{w}{n} + r}$	a).	342	

Bei sehr kleinem wesentlichem Widerstand:

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 23: (annähernd) $J = \frac{e}{r}$	a).	343	

Bei sehr kleinem äussererem Widerstand:

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 24: (annähernd) $J = \frac{n e}{w}$	b).	343	

Für das Maximum der Stromstärke
(wesentlicher gleich äusserem Widerstand):

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 25: $J = \frac{E}{2 r}$	a).		561

Für eine Säule aus b afachen Elementen:

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 26: $i_1 = \frac{e}{\frac{w}{a} + \frac{r}{b}}$	e).	344	
Formel 27: $b = \sqrt{\frac{n r}{w}}$	m).	344	
Formel 28: $a = \sqrt{\frac{n w}{r}}$	o).	344	
Formel 29: $J = \frac{e}{2} \sqrt{\frac{n}{r w}}$	f).	345	

Formeln über Stromverzweigungen.

Kirchhoffsche Sätze.

		Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 30:	$i_1 + i_2 + i_3 + \ldots - J_1 - J_2 - J_3 - \ldots = 0$ (erster Satz)	a).	348	
Formel 30a:	$J = J_1 + J_2$ (einfach verzweigter Stromkreis)	e). c).	349 351	
Formel 30b:	$J = J_1 + J_2 + J_3$ (doppelt verzweigter Stromkreis) . .	m).	350	
Formel 31:	$s = J w$	f).	348	
Formel 32:	$\Sigma E = \Sigma J W$ (zweiter Satz)	k).	348	

Formeln für einen einfach verzweigten Stromkreis, mit elektromotorischer Kraft in nur einem Zweig.

		Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 33:	$J = \frac{E(w_1 + w_2)}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$	h).	349	
Formel 34:	$J_1 = \frac{E w_2}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$	i).	349	
Formel 35:	$J_2 = \frac{E w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$	k).	349	
Formel 36:	$W = w + \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}$	m).	349	
Formel 37:	$w_{(1+2)} = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}$	o).	349	

Formeln für einen doppelt verzweigten Stromkreis, mit elektromotorischer Kraft in nur einem Zweig.

		Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 38:	$J = \frac{E(w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3)}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$	n).	350	
Formel 39:	$J_1 = \frac{E w_2 w_3}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$	o).	350	
Formel 40:	$J_2 = \frac{E w_1 w_3}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$	p).	350	
Formel 41:	$J_3 = \frac{E w_1 w_2}{w w_1 w_2 + w w_1 w_3 + w w_2 w_3 + w_1 w_2 w_3}$	q).	350	
Formel 42:	$W = w + \frac{w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$	s).	350	
Formel 43:	$w_{(1+2+3)} = \frac{w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_1 w_3 + w_2 w_3}$	u).	350	

Formeln für einen einfach verzweigten Stromkreis mit elektromotorischen Kräften in zwei Zweigen.

a). Bei Parallelschaltung der Elemente.

		Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 44:	$J = \frac{E_1 w_2 + E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$	d).	351	
Formel 45:	$J_1 = \frac{E_1 (w + w_2) - E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$	e).	351	
	Für $E_1 (w + w_2) = E_2 w$ ist:			
Formel 46:	$J_1 = 0$		351	
Formel 47:	$J_2 = \frac{E_2 (w + w_1) - E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$	f).	351	

Für $E_2(w+w_1) = E_1 w$ ist: (Gleichung | in Antw. auf Frage | in Erklärung)

Formel 48: $J_2 = 0$. 351

Für den Fall, dass diese beiden elektromotorischen Kräfte einander gleich sind:

Formel 49: $J = \dfrac{E_1}{\dfrac{w_1 w_2}{w_1+w_2}+w}$ g). 351

Formel 50: $w_{(1+2)} = \dfrac{w_1 w_2}{w_1+w_2}$ h). 351

Für zwei gleiche elektromotorische Kräfte und zwei gleiche wesentliche Widerstände ($E_1 = E_2$ und $w_1 = w_2$):

Formel 51: $J = \dfrac{E_1}{\dfrac{w_1}{2}+w}$ l). 351

b). Bei Hintereinanderschaltung der Elemente.

Formel 52: $J = \dfrac{E_1 w_2 - E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$ m). 351

Für die Brücke.

Formel 53: . g). 352

$$i = \frac{E\,(w_2 w_3 - w_1 w_4)}{w\left[(w_1+w_2+w_3+w_4)\,W + (w_1+w_2)(w_3+w_4)\right] + (w_1+w_3)(w_2+w_4)\,W + w_1 w_2 (w_3+w_4) + w_3 w_4 (w_1+w_2)}$$

Für die stromlose Brücke:

Formel 54: $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$ i). 352

Formeln über den Leitungswiderstand bezw. Leitungsvermögen.

Gesetze des Leitungswiderstands.

Formel 55: $W : W_1 = \dfrac{l}{q} : \dfrac{l_1}{q_1}$ c). 353

Formel 56: $W = \dfrac{l}{q}$ d). 353

Formel 57: $F : F_1 = \dfrac{q}{l} : \dfrac{q_1}{l_1}$ a). 354

Formel 57a: $F = \dfrac{q}{l}$ b). 354

Formel 58: $W = \dfrac{1}{F}$ c). 354

Formel 59: $J = EF$ c). 355

Formel für die Bestimmung des Widerstands einer Quecksilbersäule aus der Länge und dem Gewicht.

Formel 60: $W = \dfrac{13{,}596 \, . \, l^2}{1000 \, . \, G}$ SE f). 358

Formeln zur Berechnung des Leitungswiderstands.

Nach der einfachen Substitutionsmethode:

Formel 61: $w = W$. c). 361

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Nach der Wheatstoneschen Brückenmethode:			
Formel 62: $w = \frac{w_1 w_4}{w_2}$	a).	362	
Nach Wheatstones Methode (Antwort auf Frage 363):			
Formel 63: $w = w_4$	b).	362	
Nach Kirchhoff-Wheatstones Methode (Antw. auf Frage 364):			
Formel 64: $w = w_4 \cdot \frac{w_1}{w_2}$	c).	362	
Formel 65: $W = S \cdot \frac{l_1}{l_2}$	d).	364	
Nach Thomsons Brückenmethode:			
Formel 66: $\frac{w_3}{w_4} = \frac{w + \frac{w_0 w_1}{w_0 + w_1 + w_2}}{w_n + \frac{w_0 w_2}{w_0 + w_1 + w_2}}$	s).	366	
Für $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$ ist:	t).	366	
Formel 67: $w : w_n = w_1 : w_2$	b).	365	
Formel 67ª: $w : w_n = w_3 : w_4$	u).	366	
Für $w_1 = w_2$ und $w_3 = w_4$ ist:			
Formel 68: $w = w_n$		366	587
Für $w_2 = w_4 = 1000\, w_1 = 100\, w_3$ ist:			
$w = \frac{1}{100} w_n$		366	587

Formeln zur Berechnung des Leitungswiderstands der Rheomotoren.

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
1). Nach der Ohmschen Methode:			
Formel 69: $W = \frac{J_2 r_2 - J_1 r_1}{J_1 - J_2} - R$	d).	372	
Formel 69ª: $W = \frac{J_2 r_2 - J_1 r_1}{J_1 - J_2}$	e).	372	
2). Nach der Wheatstoneschen Methode:			
Formel 70: $W = 2r$	c).	373	
Formel 70ª: $W_1 \pm r = W$	d).	373	

Formeln zur Berechnung der elektromotorischen Kraft.

	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
1). Nach Fechners Methode:			
Formel 71: $E = E_1 \cdot \frac{J - i}{J + i}$	c).	383	
2). Nach Ohms Methode:			
Formel 72: $E = w \cdot \frac{J J_1}{J - J_1}$	f).	384	
Formel 73: $E = \frac{n}{n_1}$			604

3). Nach Wheatstones Methode:

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 74: $E : E_1 = w : W$	g).	385	
Formel 75: $E : E_1 = l : L$	h).	385	

4). Nach Poggendorffs Methode:

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 76: $E = E_1 \cdot \frac{r}{r_1}$	e).	386	

5). Nach Poggendorffs Kompensationsmethoden:

I. Methode:

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 77: $E_2 = E_1 \cdot \frac{w}{w + w_1}$	b).	387	

II. Methode:

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 78: $E_2 = Jw$	e).	387	

6). Nach du Bois-Reymonds Kompensationsmethode:

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 79: $E'_2 : E''_2 : E'''_2 : \ldots = w' : w'' : w''' : \ldots$	b).	388	
Formel 80: $E'_2 : E''_2 : E'''_2 : \ldots = l' : l'' : l''' : \ldots$	c).	388	
Formel 81: $E''_2 = \frac{l''}{l'}$			613

Formeln über die elektromotorische Kraft der Polarisation.

Formeln zur Berechnung der elektromotorischen Kraft der Polarisation.

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 82: $J = \frac{E - p}{W + w}$	a).	392	
Formel 83: $J = \frac{E - p_1}{W + w + u}$			618

Formeln über das Maximum der Polarisation.

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 84: $E - p = 0$		394	
Formel 85: $J = 0$		394	

Formeln über die Wärmewirkungen des elektrischen Stroms.

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 86: $Q = q J^2 W$	d).	397	
Formel 87: $Q_t : Q_{t_1} = t : t_1$	e).	397	

Im unverzweigten Stromkreis:

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 88: $Q_1 : Q_2 : Q_3 : \ldots = w_1 : w_2 : w_3 : \ldots$	a).	398	

Im verzweigten Stromkreis oder in verschiedenen Stromkreisen:

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 89: $Q_1 : Q_2 : Q_3 : \ldots = w_1 J_1^2 : w_2 J_2^2 : w_3 J_3^2 : \ldots$	b).	398	

Für die Wärmeerzeugung in der Zeit t:

Formel	Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 90: $Q_t = q J^2 W t$	a).	399	
Formel 91: $Q_t = q J E t$	d).	399	
Formel 92: $Q_t = \frac{q E^2 t}{W}$	f).	399	

Für die Wärmeerzeugung in der Zeiteinheit:

		Gleichung	in Antw. auf Frage	in Erklärung
Formel 93:	$Q = q\, J^2\, W$	a).		638
Formel 94:	$Q = q\, J\, E$	b).		638
Formel 95:	$Q = q \cdot \frac{E^2}{W}$	c).		638
Formel 96:	$Q = q\, J^2\, (w + r)$	a_1).		638
Formel 97:	$Q = \frac{q\, E^2}{w + r}$	c_1).		638
Formel 98:	$Q = q\, J\, s$	d).		638
Formel 99:	$Q = q \cdot \frac{s^2}{r}$	e).		638

Für die Berechnung der Gesamtwärmeerzeugung aus der Wärmeerzeugung in einem einzelnen Teil eines Stromkreises:

Formel 100:	$Q = \frac{Q_1\, E}{r\, J}$	d).	400	

Für die Berechnung der Wärmemenge im äusseren Teil des Stromkreises:

Formel 101:	$Q_a = q\, r \cdot \frac{E^2}{(w + r)^2}$	c).	401	

Für die Berechnung der Wärmemenge innerhalb des Rheomotors:

Formel 102:	$Q_i = q\, w \cdot \frac{E^2}{(w + r)^2}$	c).		640
Formel 103:	$Q = Q_1 + Q_a$	a).		640

Für die Berechnung des Maximums der Wärmemenge im äusseren Teil des Stromkreises:

Formel 104:	$Q_a = \frac{q\, E^2}{4\, w}$	a).	402	
Formel 105:	$Q_a = Q_1 = \frac{1}{2}\, Q$		403	

Für das galvanische Glühen von Metalldrähten:

Formel 106:	$t = \frac{4\, q}{k\, \pi^2} \cdot \frac{s\, J^2}{f\, d^2}$	f).	404	

Formeln über elektrische Endosmose.

Formel 107:	$\frac{m_1}{J_1} = \frac{m_2}{J_2}$	b).	412	
Formel 108:	$\frac{h_1\, o_1}{i_1} = \frac{h_2\, o_2}{i_2}$	h).	414	
Formel 109:	$\frac{h_1}{d_1\, i_1} = \frac{h_2}{d_2\, i_2}$	d).	415	

Alphabetisches Sachregister.

A.

	Frage	Erkl.	Seite
Absorption	283		180
Accumulator		325	136
Aktiv		339	146
—	233		147
Amalgamieren von Eisen		126	43
— von Zink		117	41
Ampère		510	218
—		600ᵃ	292
Anion	273		174
Anode	273		174
— Oxydation der	286		181

B.

	Frage	Erkl.	Seite
Barometer		511	218
— stand		512	218
Batterie	41		31
Bechersäule	45		33
Berührungselektricität	2		1
Bogenlampe		387	161
— licht		395	163
Braunstein		130	49
Brücke	347		253
—	352		267
Brücken-Gleichung	352		267
Bussole		237	105

C.

	Frage	Erkl.	Seite
Chromsäuremischungen		129	47
Cylinderrheostat	200		124

(Siehe unter K)

D.

	Frage	Erkl.	Seite
Diaphragma	130		78
— Messung des Widerstands des	375		290
Dichte		45	13
— differenz		503	209
— —	318		209

E.

	Frage	Erkl.	Seite
Einheiten, chemische, der Stromstärke	325		215
— Siemenssche, des Widerstands	356		274
Elektricität, Begriff der	1		1
Elektricität dynamische	3		2
Elektricitätserregung	8		4
— —	9		4
— —		3	1
Elektricität, freie		44	12
— gebundene		44	12
— gleichnamige		24	7
— Nachweis der		19	5
— strömende	3		2
— ungleichnamige		24	7
elektrisch, negativ		23	7
— positiv		23	7
elektrischer Zustand		23	7
Elektrisieren		18	5
Elektrode	42		32
—	273		174
Elektrolyse, Begriff der	272		173
— der Alkalien und Erden	294		185
— der Chlormetalle	288		182
— der Salzlösungen	299		187
— Theorie der	315		199
Elektrolyt		279	118
—	273		174
elektrolytische Aequivalente	306		194
— —	309		196
Elektrometer		19	5
elektromotor. Kraft	14		12
— —	17		13
— —		269	115
— — der Elemente	389		303
— — — — Tabelle	390		304
— — des Lichtbogens	269		167
— — der Polarisation	391		305
— — Masseinh. der	376		290
— — Messung der	382		293
Elektroskop		19	5
— Gebrauch des		21	5
Element	26		20
—		59	21
—	40		31
— einfaches	42		31
— —	44		33
— — Voltasches	47		35
— inkonstantes		97	32
— konstantes		97	32

	Frage	Erkl.	Seite
Element mit einer Flüssigkeit	44		33
— mit zwei Flüssigkeiten	84		51
— mit präparierten Elektroden	56		40
— sekundäres		329	137
Emissionsvermögen		645	316
Endosmose, elektrische	312		198
—	410		322
Energie, chemische		671	328
F.			
Firniskondensator		31	8
Fluidum, elektrisches		42	12
Froschschenkelversuch	4		2
—		9	3
Fundamentalversuch	9		4
G.			
Galvanismus	3		2
Galvanometer	154		94
—	167		104
Galvanoskop	174		108
—	175		108
Gas-Element	122		69
Glühen von Metalldrähten	404		316
Goldblattelektroskop		19	5
—		20	5
—		21	5
Goldschlägerhaut		133	53
Grundbegriffe, chemische	271		168
Gyrotrop		195	86
H.			
Hintereinanderschaltung		188	83
Hypothesen über Elektrolyse	315		199
— über Kontaktelektricität	316		203
I.			
Influenz		26	7
Influenzelektricität		28	8
Intensität		37	30
— des Erdmagnetismus		242	106
— —		243	107
Invertor		195	86
Jonen	273		174
— Wanderung der	310		197
Isolator		17	4
—	187		117
Isolieren		17	4
K.			
Kalorie		632	309
Kalorimeter		639	312
Kalorimetrie		635	310
Kältemischung		450	181
Kation	273		174
Katode	273		174

	Frage	Erkl.	Seite
Kette	41		31
Klemmschraube	128		72
Knallgas		208	96
Knallgasvoltameter		209	96
Kohlenelektrode, Herstellung der		128	45
Kohlenlicht	261		161
—		402	166
Kommutator		195	86
Kompensationsmethode	382		293
Kondensator		19	5
Kontaktelektricität	2		1
— — Wesen der	316		203
— fehler		589	284
— vorrichtung	129		74
Kosinus		549	235
Kupferpol		60	21
Kupfervoltameter	164		101
— —	166		103
L.			
Ladungs-Element		329	137
— Säule		329	137
Leiter I. Klasse	13		11
— —	188		118
— —		277	118
— —	189		118
— II. Klasse	13		11
— —	188		118
— —		277	118
— —	190		118
— gute	186		117
— —		25	7
— Halb-		25	7
— schlechte	187		117
— —		25	7
Leitungsdraht	125		71
—	126		72
Leitungsstreifen	125		71
Leitungsvermögen (Gesetze)	354		273
— der Metalle		570	273
— spezifisches	195		120
— des Wassers		213	97
Leitungswiderstand		91	30
—	191		119
—		281	120
—	354		273
— der Flüssigkeiten	213		133
— der Legierungen	210		131
— der Metalle	206		129
— des Kohlenstoffs	211		132
— des Selens	212		133
— Gesetze des	353		272
— Masseinheiten	356		274
— Messung des	353		272
— —	360		277
— —	367		284
— —	370		286
— spezifischer	195		120
Lichtbogen	288		160
— Temperatur des		399	164
Lichtwirkungen	251		157
Lichtstärke	266		165

M.

	Frage	Erkl.	Seite
Magnetnadel		227	104
Masseinheit der elektromotorischen Kraft	376		290
— der Stromstärke		325	215
— der Wärmemenge		631	309
— des Widerstands	356		274
Mikrophon		318	133
Multiplikator	174		108

N.

	Frage	Erkl.	Seite
Normal-Daniell-Element		137	54
— — —	377		291
— — —	378		291
Normal-Elemente	377		291

O.

	Frage	Erkl.	Seite
Oeffnungsfunken	251		157
Ohm	359		276
—		600a	292
— legales		577	277
Ohmsches Gesetz		272	116
— —		273	117
— —	337		238
Ozon	284		181

P.

	Frage	Erkl.	Seite
Pachytrop		190	84
Parallelogramm der Kräfte		545	234
Parallelschaltung		189	83
Passivität	230		145
Perpetuum mobile	34		27
Photophon		320	133
Platinieren des Platins		56	19
— der Kohle		127	45
Pol	26		20
—	42		31
— positiver	26		20
— negativer	26		20
Polarisation	216		135
—	391		305
— der Rheomotoren	225		143
— Maximum der	394		306
Polarisations-Element		328	137
— Säule		329	137
— Strom		329	137
Polarisierbarkeit der Metalle		628	308
Polklemme	42		31
Polplatte	26		20
Prozess, sekundärer		433	174
Pyrolusit		130	49

Q.

	Frage	Erkl.	Seite
Quecksilbereinheit	356		274
Quecksilbernapf	128		72

R.

	Frage	Erkl.	Seite
Reduktionsfaktor	335		236
Reihe, elektrochemische		494	200
Retortenkohle		131	49
Rheochord	202		126
Rheomotor	39		31
Rheometer	153		94
Rheophor		162	72
Rheostat	196		121

S.

	Frage	Erkl.	Seite
Säule, Voltasche	26		20
— galvanische	41		31
— geschlossene	36		29
— trockene	30		24
Schenkelapparat	301		190
—	304		192
Schliessungsfunken	254		158
Schwingungsdauer		267	113
Selen, Leitungsfähigkeit des	212		133
Silbervoltameter	164		101
Sinus		548	235
Spannkraft der Gase		521	221
Spannung	15		12
—		501	209
Spannungsdifferenz	16		13
— reihe	11		10
Stärke der Säule	27		22
Stöpselrheostat	203		127
Strom, elektrischer			
— photochemischer	243		151
— sekundärer		329	137
Stromdichte		456	184
Stromgesetze	38		30
— experimentelle, Beweise der	179		112
Stromkreis	36		29
Strommesser	153		94
Stromregulator		286	121
Stromrichtung	36		29
Stromschlüssel	140		84
Stromstärke	37		30
— Masseinheiten	325		215
— —		556	239
— Messung	323		214
— — mit Tangentenbussole	333		231
— — mit Voltameter	327		218
Stromunterbrecher	144		86
Stromverzweigung	346		252
Stromwender	145		86
Stromzweige, Gesetze	349		257
— parallele		565	258

T.

	Frage	Erkl.	Seite
Tangentenbussole	168		105
— galvanometer	168		105
Tauchbatterie	132		79
Temperaturkoefficient		571	273
Thermo-Element		98	32
Transportable Rheomotoren	137		82

U.

	Frage	Erkl.	Seite
Uebergangswiderstand	214		134
— des Lichtbogens		406	167
Ueberschwefelsäure	285		181

V.

	Frage	Erkl.	Seite
Verbindungswärme		685	333
Volt	379		292
—		600	292
Voltameter	154		94
Voltaskop	174		108
—	176		110
Volumverhältnis zwischen Sauerstoff und Wasserstoff	280		179
Vorzüge, chemische, in galvanischen Elementen	416		339

W.

	Frage	Erkl.	Seite
Wanne, pneumatische		444	178
Walzenrheostat	199		123
Wärmeeffekt	420		332
Wärmeeinheit		631	309
—		632	309
Wärmemenge		630	309
—		632	309
— Maximum der	402		314
Wärmestrahlungsvermögen		645	316
Wärmestrahlungsvermögen		661	320
Wärmewirkungen	246		153
—	397		308
Wasserstoffsuperoxyd	285		181
Wasservoltameter	157		96
Wasserzersetzung	275		174
Wasserzersetzungsapparate	277		175
Widerstand, siehe Leitungswiderstand			
— des Uebergangs	214		134
— äusserer	338		240
— wesentlicher	338		240
Widerstandsetalon	204		128
Widerstandssäule	201		125
Wippe	224		140
—	621		306
Wirkungen, chemische	307		194
— lokale		681	331

Z.

	Frage	Erkl.	Seite
Zersetzungswärme		685	333
Zersetzungswiderstand		619	306
Zersetzungszelle	273		173
— für Salzlösungen	300		189
Zinkpol		60	21
Zustand, latender		44	12
— neutraler		44	12

Alphabetisches Register der Worterklärungen.

	Erklärung	Seite
Accumulator	326	136
Aktiv	340	146
Anode	432	174
Barometer	511	218
Bussole	237	105
Diaphragma	173	78
Dynamisch	6	2
Effekt	682	332
Elektrode	432	174
Elektrolyse	432	174
Elektromotorisch	40	12
Emission	645	316
Energie	669	328
Etalon	305	128
Exsiccator	75	26
Fluidum	42	12
Galvanoskop	249	108
Gyrotrop	198	87
Heterogen	2	1
Hypothese	12	3
Inkonstant	333	143
Invertor	197	87
Isolieren	17	4
Kalorimeter	639	312
Katode	432	174
Kollektor	33	9
Kommutator	196	86
Kompensation	607	299
Kondensator	32	8
Konstant	333	143
Kontakt	1	1
Manometer	665	326
Maximum	622	307
Meteor	347	147
Multiplikator	250	108
Pachytrop	191	84
Passiv	337	145
Perpetuum mobile	82	27
Photochemisch	365	152
Polarisation	324	135
Reciprok	282	120
Regulator	286	121
Rheochord	298	127
Rheometer	202	94
Rheomotor	92	31
Rheophor	162	72
Rheostat	284	121
Thermometer	371	154
Voltaskop	249	108

Alphabetisches Autorenregister.

	Frage	Erkl.	Seite
Bagration, Erd-Element	66		43
— do.	137		82
Becquerel, Zink-Kupfer-Element	86		52
— Widerstand der Metalle	206		129
— Widerstand der Flüssigkeiten	213		133
Behrens, Trockene Säule		72	25
Berthelot, Wasserzersetzung		452	181
Berzelius, Hypothese	315		201
— Elektrochemische Reihe		494	200
du Bois-Reymond, Stromschlüssel	142		85
— do.	143		85
— Kompensationsmethode	388		301
Böttger, Zink-Antimon-Element	67		44
— Zink-Kohle-Element	73		45
Buff, Normal-Daniell-Element	89		54
— Chromsäure-Element	107		65
— Eisenchlorid-Element	109		65
— Maximum der Polarisation	396		308
Bunsen, Herstellung von Kohle-Elektroden		128	45
— Chromsäuremischung		129	47
— Zink-Kohle-Element	104		63
— Chromsäure-Element	107		65
— Tauchbatterie	133		80
— Wasserzersetzungsapparat	279		178
Caldani, Elektrisierte Frösche		8	2
Callan, Smee-Element	61		42
— Grove-Element	103		63
— Zink-Eisen-Element	105		64
Callaud, Daniell-Element	97		59
— do.		175	78
Candito, Daniell-Element	98		60
— do.		175	78
Clark, Latimer, Zink-Quecksilber-Element	121		68
Clausius, Hypothese	315		201
Cooper, Zink-Kohle-Element		150	63
Courtet, Lichtbogen		388	161
Crosse, Schliessungsfunken	256		159
Cruikshank, Trogapparat	48		35
— do.		104	36
— Oeffnungsfunken		379	157
— Entladungen	257		159
Daniell, Zink-Kupfer-Element	87		53
— do.	88		53
— Zersetzungszelle	302		190
Davy, Lichtbogen		389	162
— Elektrolyse der Alkalien		466	186

	Frage	Erkl.	Seite
Davy, **Marié**, Quecksilbersulfat-Element	116		67
Delaurier, Chromsäuremischung		129	47
— Eisenvitriol-Element	110		65
Drive, Zink-Kupfer-Element	63		43
Duchemin, Pikrinsäure-Element	112		66
Ducretet, Chromsäuremischung		129	47
Dujardin, Stromwender	149		89
Ebner, Smee-Element	61		42
Edlund, Elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens	269		167
— do.	270		167
Eisenlohr, Widerstandssäule	201		125
Ermann, Trockene Säulen		68	24
— Säule mit einem Metall und einer Flüssigkeit		88	28
Exner, Chemische Theorie	316		205
Faraday, Säule	54		39
— Jodkalium-Voltaskop	177		110
— Elektrolyse		432	174
— Elektrolytische Gesetze		477	195
Faure, Bunsen-Element	106		65
Fechner, Elektricitätserregung zwischen Flüssigkeiten	23		17
— Messung der elektromotorischen Kraft	383		293
— Uebergangswiderstand		618	305
Gaiffe, Braunstein-Element	82		50
— Chlorsilber-Element	119		68
Galvani, Elektrisierte Frösche	3		2
Gassiot, Schliessungsfunken	256		159
Gérardin, Eisenchlorid-Element	109		65
Grenet, Chromsäuremischung		129	47
Grotthus, Hypothese	315		199
Grove, Gasbatterie	24		18
— do.	123		69
Gruel, Stromwender	150		90
Guignet, Eisenchlorid-Element	109		65
Haldane, Voltasche Säule		100	34
Hare, Spirale	53		38
— Entladungen	257		159
Hittorf, Schliessungsfunken	256		159
— Zersetzungszellen	303		191
— Elektrische Endosmose	413		325
Hofmann, **A. W.**, Wasserzersetzungsapparat	278		177
Howell, Braunstein-Element	83		50
Jacobi, Schliessungsfunken		383	159
— und **Wheatstone**, Cylinderrheostat	200		124
Jäger, Trockene Säule		69	25
Joule, Gesetz		372	154
— do.	397		308
Kemp, Zinkamalgam-Element		121	41
Kirchhoff, Sätze	348		254
— -**Wheatstone**, Messung des Widerstands	364		280
Kittler, Kupfervoltameter	332		230
Klobuckow, Zersetzungszelle	304		192
Kohlrausch, **F.**, Knallgasvoltameter	160		97
— Messung der Stromstärke	328		223
— Widerstand der Metalle		570	273
— Widerstand des Wassers		213	97
— Spannkraft des Dampfes		521	221
Koosen, Kaliumpermanganat-Element	113		66

	Frage	Erkl.	Seite
Leclanché, Braunstein-Element	80		48
Ledingham, Gewichtsvoltameter	163		100
— do.	330		228
Lenz, W., Widerstand der Metalle	206		129
— Joulsches Gesetz		636	310
— Wärmeeffekt		689	332
Leslie, Wärmestrahlungsvermögen		645	316
Lodge, Normal-Daniell-Element	101		62
Loiseaux, Chromsäuremischung		129	47
Maiche, Zink-Kohle-Element	74		45
Makrell, Entladungen	257		160
Mariotte, Gesetz		514	219
Matthiessen, Widerstand der Metalle	206		129
— Widerstand des Kupfers		315	132
Meidinger, Daniell-Element	96		58
— do.		175	78
— Wasserzersetzung	285		181
Melloni, Wärmestrahlungsvermögen		645	316
Minotto, Daniell-Element	93		57
Mohr, Knallgasvoltameter	161		98
Müller, J., Umschalter		332	141
Müller, Widerstand bei hohen Temperaturen		650	317
Münnich, Zink-Eisen-Element	64		43
Muirhead, Clark, Braunstein-Element	81		49
Munk, Spannungsreihe	12		11
Niaudet, Zink-Blei-Element	65		43
— Chlorkalk-Element	114		66
Oerstedt, Ablenkung der Magnetnadel		260	110
— Element	51		38
Ohm, Gesetz		273	117
— do.	337		239
— Widerstand der Metalle	206		129
— Messung des Widerstands der Rheomotoren	372		287
— Messung der elektromotorischen Kraft	384		294
Osann, Zink-Element	68		44
Oster, Bleisuperoxyd-Element	79		48
Partz, Chromsäuremischung		129	47
Péclet, Spannungsreihe	12		11
Pfaff, Spannungsreihe	12		11
Pincus, Daniell-Element	99		61
— do.		175	78
— do.		177	78
— Chlorsilber-Element	118		67
Planté, Accumulatoren		325	136
— Entladungen	257		160
Poggendorff, Silbervoltameter		220	102
— Wippe	224		140
— Reochord	202		126
— Messung der elektromotorischen Kraft	386		298
— Kompensationsmethode	387		299
— Maximum der Polarisation	396		308
— do.		627	308
— Zink-Kupfer Element	62		43
— Chromsäuremischung		129	47
— Chromsäure-Element	107		65
— Stromwender	151		91
— Uebergangswiderstand		618	305
Ponci, Eisen-Kohle-Element	111		66
Pulvermacher, Kette		102	34

	Frage	Erkl.	Seite
Pulvermacher, Kette	137		82
— Zink-Silber-Element	69		44
— do.		183	81
— do.	137		82
Raoult, Normal-Daniell-Element	90		55
— Wärmeeffekt des Daniell-Elements		689	333
Regnier, Daniell-Element	94		58
Reusch, Stromwender	148		88
Riess, Widerstand der Metalle	206		129
Rive, de la, Knallgasvoltameter	162		99
— Bleisuperoxyd-Element	78		48
— Chemische Theorie	316		204
Roberts, Zink-Eisen-Element	59		41
Romagnosi, Ablenkung der Magnetnadel		260	110
Rue, Warren de la und Müller, Chlorsilber-Element	117		67
— Schliessungsfunken	256		159
Ruhmkorff, Stromwender	147		87
Schmidt, G. G., Voltasches Element	52		38
Schönbein, Zink-Kohle-Element		150	63
— Zink-Eisen-Element	105		64
Scrivanoff, Quecksilberoxyd-Element	120		68
Seebeck, Spannungsreihe	12		11
Siemens, Daniell-Element	91		55
— Stöpselrheostat	203		127
— Widerstandsetalon	204		128
— Quecksilbereinheit		304	128
— do.	357		275
— Bussolennadel		543	233
— Messung des Widerstands der Rheomotoren	374		289
Sinsteden, Accumulatoren		325	136
Smee, Zink-Platin-Element	60		42
— do.	61		42
Sprague, Herstellung von Kohle-Elektroden		128	45
Sturgeon, Zink-Kupfer-Element	58		41
— Zink-Eisen-Element		122	41
Sulzer, Geschmackswirkungen		8	2
Svanberg, Maximum der Polarisation	396		308
Symmer, Hypothese		44	12
Thomsen, Kupfer-Kohle-Element	108		65
— Wärmeeffekt des Daniell-Elements		689	333
— Wärmeeffekt galvanischer Elemente	424		334
Thomson, W., Daniell-Element	95		58
— Messung des Widerstands	365		281
Trouvé, Daniell-Element	92		56
— do.	137		82
Tyer, Smee-Element	61		42
Uelsmann, Zink-Eisen-Element	105		64
Varley, Daniell-Elemente	100		61
— do.		175	78
Volta, Kontaktelektricität	6		3
— do.	7		3
— Fundamentalversuch	9		4
— Spannungsreihe	12		11
— Säule	26		20
— Firniskondensator	29		8
— do.	31		8
— Becher-Element	45		33
— Kontakttheorie	316		203

	Frage	Erkl.	Seite
Walker, Zink-Kohle-Element	72		45
Weber, Tangentenbussole	169		105
Wheatstone, Walzenrheostat	199		123
— Messung des Widerstands	362		278
— do.	363		279
— Messung des Widerstands der Rheomotoren	373		288
— Messung der elektromotorischen Kraft	385		296
— Maximum der Polarisation	396		308
— und **Jacobi**, siehe Jacobi.			
— -**Kirchhoff**, siehe Kirchhoff.			
Wiedemann, Messung des Lichtbogens	265		165
— Zersetzungszelle	305		193
— Hypothese	315		202
— Elektrische Endosmose		662	322
Wild, Elektricitätserregung zwischen Flüssigkeiten	23		18
Wilkinson, Trogapparat	49		36
Wöhler, Aluminium-Element	115		66
— do.		359	149
Wollaston, Element	50		36
— Säule	133		80
Young, Voltasches Element	55		40
Zamboni, Trockene Säule		73	25
— Perpetuum mobile	34		27
— Säule mit einem Metall und einer Flüssigkeit		83	28

Litteraturverzeichnis.

Die von dem Verfasser hauptsächlich benützten Werke und Zeitschriften sind:

Annalen der Physik und Chemie.
Beiblätter der Annalen der Physik und Chemie.
Centralblatt für Elektrotechnik.
Elektrotechnische Zeitschrift.
Gavarret, J., Traité d'électricité.
Hoppe, E., Geschichte der Elektricität.
Hospitalier, E., Formulaire pratique de l'électricien.
Kempe, H. R., Handbook of electrical testing.
Kittler, E., Handbuch der Elektrotechnik.
Kleyer, A., Mathematisch-naturwissenschaftlich-technische Encyklopädie.
Kohlrausch, F., Leitfaden der praktischen Physik.
Mousson, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung.
Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik und Meteorologie.
Niaudet, A., Traité élémentaire de la pile électrique.
Repertorium für Experimental-Physik.
Wiedemann, G., Die Lehre von der Elektricität.
Wüllner, A., Lehrbuch der Experimental-Physik.

FERD. SCHNEIDER
Buchbinderei
BAMBERG

Bayerische StaatsBibliothek

Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

May, Oscar

Lehrbuch der Kontaktelektricität (Galvinismus) mit 731 Erklärungen, 238 in d. Text gedr. Fig., einem Formelnverzeichnis u. e. alphab. Sach- u. Autorenreg. ; nebst einer Sammlung gelöster und ungelöster analoger Aufgaben ; zum Gebrauch an niederen und höheren Schulen, sowie zum

Stuttgart 1887

Bamberg, Staatsbibliothek -- Phys.o.113-a
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11846191-5